


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE





ANNALES

DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le ministre des travaux publics. Cette commission, dont font partie le directeur des mines et de l'exploitation des chemins de fer et le directeur du cabinet et du personnel, est composée ainsi qu'il suit :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le ministre des travaux publics*, à M. l'ingénieur secrétaire de la commission des Annales des Mines.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES

DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XX.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

ET DE L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, n° 49

—

1881

ANNALES
DES MINES.

RAPPORT
SUR
LA COMPARAISON DES DEUX TYPES DE VOIE
A RAIL VIGNOLE ET A RAIL A DOUBLE CHAMPIGNON

Par M. VICAIRE, ingénieur en chef des mines, professeur du cours de chemins de fer à l'École des mines.

Le conseil général des ponts et chaussées (3ᵉ section) ayant émis l'avis « qu'il conviendrait de soumettre à un examen approfondi la question générale encore controversée de la préférence à donner au rail Vignole ou au rail à double champignon, en chargeant une commission spéciale de recueillir et de comparer les résultats, aujourd'hui nombreux, de l'expérience qui a été faite de l'un et de l'autre type sur les différents réseaux, et, s'il y a lieu, d'arrêter le type à adopter définitivement sur les chemins de l'État », M. le ministre des travaux publics a chargé le comité de l'exploitation technique des chemins de fer de procéder à cette enquête.

Le comité lui-même a chargé d'une manière plus spéciale une commission de cinq membres pris dans son sein de recueillir les documents et renseignements les plus complets et de lui présenter un rapport sur l'ensemble des résultats fournis par cette enquête (*).

(*) Cette commission était composée de MM. Brame, inspecteur

Cette commission a rédigé un questionnaire étendu dans lequel elle s'est attachée à aborder toutes les considérations qui pourraient à un degré quelconque influer sur la comparaison des deux types de voie, ainsi que les faits statistiques propres à faire connaître les résultats donnés par chacun des deux types ou à indiquer la préférence dont l'un ou l'autre d'entre eux peut être l'objet. Ce questionnaire a été adressé aux compagnies françaises, qui y ont répondu avec un soin dont la commission tient à les remercier ici. Plusieurs de ces réponses constituent de véritables traités sur la matière et représentent un travail considérable. Les ingénieurs du contrôle, de leur côté, ont fourni ou des réponses au questionnaire, ou des rapports qui forment un ensemble de la plus grande valeur. Plusieurs compagnies étrangères ont bien voulu répondre aussi à l'appel de la commission.

C'est d'après cet ensemble de renseignements, sans parler, bien entendu, des publications qui ont été faites sur la matière, que la commission a rédigé son rapport.

La comparaison entre la voie à coussinets et la voie à patins doit se faire, et c'est dans ce sens qu'a été conçu le questionnaire, à trois points de vue : celui de l'établissement, celui de l'entretien et du renouvellement, celui du fonctionnement plus ou moins avantageux.

Au point de vue de l'établissement, une seule chose est à considérer, c'est la dépense. A la rigueur, on pourrait faire intervenir la rapidité plus ou moins grande de la pose. Mais cette rapidité, considérée en elle-même et indépen-

---

général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer de l'Ouest, *président*; Rousselle, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer d'Orléans; Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est; Mayer, ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Ouest; Vicaire, ingénieur des mines, professeur du cours de chemins de fer à l'École des mines, *rapporteur*.

damment de son influence sur la dépense, est évidemment un point trop secondaire pour influer d'une manière appréciable sur le choix à faire de l'une ou de l'autre voie.

En ce qui concerne l'entretien et le renouvellement, il y a au contraire, à côté de la dépense, à faire intervenir des considérations très importantes de sécurité et de facilité de service. S'il était reconnu, par exemple, que l'une des deux voies se disloque plus rapidement que l'autre, il n'y aurait pas seulement à se préoccuper de la dépense plus grande qui résulterait de là, mais aussi du danger qu'entraîneraient pour la circulation la nécessité d'une surveillance plus assidue et les défaillances possibles de celle-ci. D'autre part, si, dans l'un des deux systèmes, les réparations, le renouvellement d'un rail, par exemple, exigent un temps plus long, ce système, par cela seul, se conciliera moins bien avec une circulation très active.

Vient enfin la question de fonctionnement. L'un des deux systèmes offre-t-il plus ou moins de chances d'accidents, offre-t-il des conditions de roulement plus ou moins agréables pour les voyageurs, plus ou moins favorables à la conservation du matériel roulant, peut-être même à l'économie de la traction? Tels sont les points que nous aurons à examiner.

Chemin faisant, nous rencontrerons des questions importantes qui ne se rattachent pas directement à la comparaison des deux voies, mais qu'on nous saura gré, pensons-nous, d'éclaircir à l'aide des documents recueillis dans l'enquête.

Ce rapport se divisera donc naturellement en trois parties, que nous allons aborder successivement, et auxquelles nous joignons un appendice relatif à ce dernier ordre de questions.

PREMIÈRE PARTIE.

DÉPENSE D'ÉTABLISSEMENT.

Les renseignements sur ce premier point sont nombreux et précis, mais ils ne sont pas immédiatement comparables. Il y a, en effet, d'un réseau à l'autre, ou même d'une ligne à l'autre d'un même réseau, de nombreuses différences qui ne dépendent pas du système de voie adopté.

Il y a trois parties à distinguer dans la voie : le ballast, les traverses et la voie proprement dite, presque entièrement métallique, qui repose sur les traverses.

Le ballast est en grande partie sous les traverses, en partie dans leur intervalle ou au-dessus d'elles. Toutes les réponses constatent unanimement qu'il n'y a aucune raison de modifier l'épaisseur du ballast sous les traverses suivant le système de voie adopté. Elles constatent de même que si le système de voie est en rapport assez direct avec le choix de l'essence de bois qui constitue les traverses, il n'influe pas sur les dimensions à donner à celles-ci, et n'influe que fort peu sur leur écartement, et par conséquent sur la quantité de ballast qui en occupe les intervalles ou qui en garnit les bouts.

Il en est autrement pour le ballast qui recouvre les traverses.

Dans la voie à coussinets, le rail, de même hauteur en général, à un centimètre près tout au plus, que le rail à patins, s'élève au-dessus de la traverse d'une quantité égale à l'épaisseur de la semelle du coussinet. Celle-ci est la suivante sur nos divers réseaux :

Nord.	50	millim.
Est.	45	—
Ouest	48	—

Orléans	43 millim. 40 —
Midi	42 —
État	40 —

Dans la voie Vignole, au contraire, le patin pénètre plus ou moins dans la traverse. En estimant à 10 millimètres en moyenne cette pénétration au droit de l'axe du rail, on voit qu'à hauteur égale du rail, et toutes choses égales d'ailleurs, le sommet du rail, dans la voie à coussinets, serait plus élevé que dans la voie Vignole d'une quantité variant entre 50 et 60 millimètres.

La surface libre du ballast, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la voie, étant réglée d'une manière un peu différente suivant les lignes, mais toujours en rapport avec le plan de roulement des rails, on peut admettre que l'épaisseur du ballast est généralement plus grande dans la voie à coussinets que dans la voie Vignole, précisément de la différence entre les surfaces des rails, c'est-à-dire de 50 à 60 millimètres. Eu égard à largeur habituelle des voies, cela représente un cube de $0^{mc},25$ à $0^{mc},30$ par mètre courant pour les lignes à voie unique, et de $0^{mc},45$ à $0^{mc},50$ pour celles à double voie.

C'est là une dépense qui n'est nullement négligeable. Mais il est à remarquer qu'elle n'est pas obligatoire. Les réponses s'accordent généralement à dire que si, dans la voie à double champignon, on recouvre ainsi les traverses d'une certaine épaisseur de ballast, c'est parce qu'on trouve cela avantageux en soi, pour la conservation des traverses et même pour la stabilité de la voie, mais qu'on pourrait se dispenser de le faire sans plus d'inconvénients que dans la voie Vignole (*). C'est un bénéfice que la voie à coussinets comporte sans en faire une nécessité. Il ne semble donc pas

(*) Il y a cependant un motif particulier à la voie à double champignon, c'est de protéger les coins contre les changements atmosphériques.

juste de porter cette dépense supplémentaire de ballastage en augmentation du prix de la voie à double champignon, puisqu'on pourrait en faire l'économie et qu'elle est couverte immédiatement par des avantages correspondants. Ce serait faire un inconvénient de ce qui est au contraire une supériorité.

Nous pensons donc qu'il faut comparer les prix des deux voies en faisant abstraction du ballast.

Occupons-nous donc de la voie proprement dite, partie métallique et traverses.

Avant d'en discuter les éléments de manière à les ramener à des termes comparables, il sera bon de présenter le tableau des prix de revient bruts, tels qu'ils ont été communiqués à la commission. Ces tableaux ne comprennent pas les frais de réception, de chargement, transport, manutention, pose, etc., que toutes les compagnies n'ont pas donnés et dont l'évaluation est d'ailleurs un peu arbitraire. Il en est de même pour les frais de sabotage des traverses, qui forment une somme minime et peu près la même dans tous les cas.

VOIE A DOUBLE CHAMPIGNON.

DÉSIGNATION des articles.	NORD. fer 37 k. Rails de 6 mètres. 7 traverses.			NORD. (Hypothétique). acier 38 k. Rails de 6 mètres. 7 traverses.			EST. fer 37 k 50, symétrique Rails de 6 mètres. 6 traverses.			EST. fer 35 k. dissymétrique. Rails de 6 mètres. 6 traverses.			OUEST. acier 38 k. 75 Rails de 8 mètres. Coussinets à large semelle, 10 traverses.		
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.
Rails	74,000	155,85	11.532,90	76,000	232,70	17.670,00	75,000	155,85	11.688,75	70,000	155,85	10.909,50	77,500	215,00	16.662,50
Éclisses	3,200	154,80	495,36	3,200	154,80	495,36	»	»	»	»	»	»	3,075	232,70	715,55
Coussinets-éclisses	»	»	»	»	»	»	6,667	220,00	1.466,74	6,667	220,00	1.466,74	»	»	»
Boulons	0,562	268,00	150,62	0,562	268,00	150,62	0,567	254,00	144,02	0,567	254,00	144,02	0,710	255,00	181,05
Tirefonds	»	»	»	»	»	»	1,587 (a)	369,00	585,60	1,587	369,00	585,60	2,025	278,40	563,76
Chevillettes	1,660	300,00	498,00	1,660	300,00	498,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Coussinets	19,800	140,00	2.772,00	19,800	140,00	2.772,00	»	»	»	»	»	»	38,750	108,30	4.196,25
Coussinets intermédiaires	»	»	»	»	»	»	14,533	109,00	1.584,10	14,667	109,00	1.598,70	»	»	»
Coins	»	»	»	»	»	»	Pièces 1.667	0,10	166,70	Pièces 1.667	0,10	166,70	Pièces 2.500	0,10	250,00
Traverses de joint	Pièces 1.167	5,50	6.418,50	Pièces 1.167	5,50	6.418,50	167 (b)	8,50	1.419,50	167 (b)	8,50	1.419,50	1.250	5,60	7.000,00
Traverses intermédiaires							833 (b)	7,10	5.914,30	833 (b)	7,10	5.914,30			
Totaux	......	......	21.867,38	......	......	28.004,48	......	......	22.969,71	......	......	22.905,06	......	......	29.569,11

(a) Galvanisés.
(b) En chêne créosoté.

VOIE A DOUBLE CHAMPIGNON.

DÉSIGNATION des articles.	OUEST. acier 38 k. 75. Rails de 8 mètres. Coussinets ordinaires, 10 traverses.			ORLÉANS. Rails de 5 m. 50 c. 6 traverses. fer 36 k, 5.			ORLÉANS. acier 38 k.			MIDI. acier 37 k. Rails de 5 m. 50 c. 6 traverses.			ÉTAT. acier 38 k. Rails de 5 m. 50 c. 6 traverses.		
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.	tonnes	fr. c.	fr. c.
Rails...................	77,500	215,00	16.662,50	73,000	190,00	13.870,00	76,000	225,00	17.100,00	74,000	260,00	19.240,00	76,000	218,00	16.548,00
Éclisses	3,075	232,70	715,55	3,395	172,50	585,64	3,395	172,50	585,64	3,354	190,00	637,26	3,455	200,00	691,00
Coussinets-éclisses	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Boulons.................	0,710	255,00	181,05	1,004	278,50	279,61	1,004	278,50	279,61	0,669	327,65	219,23	0,909	300,00	272,70
Tirefonds...............	2,025	278,40	563,76	1,309	376,30	492,58	1,309	376,30	492,58	»	»	»	»	»	»
Chevillettes	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1,876	372,00	696,87	1,364	235,00	320,54
Coussinets	24,000	108,30	2.599,20	21,164	119,40	2.527,00	21,164	119,40	2.527,00	22,909	142,50	3.264,53	20,945	140,00	2.932,30
Coins	Pièces 2.500	0,10	250,00	Pièces 2.182	0,095	207,29	Pièces 2.182	0,095	207,29	Pièces 2.182	0,104	226,93	Pièces 2.182	0,11	240,02
Traverses de joint ...... / Traverses intermédiaires	1.250	5,60	7.000,00	1.091	5,25(a)	5.727,75	1.091	5,25(b)	5.727,75	1.091	4,25(b)	4.636,75	1.091	5,50	6.000,50
Totaux........	......	......	27.972,06	......	......	23.689,87	......	......	26.919,87	......	......	28.921,57	......	......	27.005,06

(a) En chêne préparées.
(b) En chêne.
Avec traverse en pin créosoté à 3 francs...... 3,273 f 00 c. Prix du kilomètre, 27,557 f 82 c.
— — sulfaté à 2 fr. 65 c ...... 2,891 15 — — 27,175 97

VOIE VIGNOLE.

DÉSIGNATION des articles.	NORD. fer 37 k. Rails de 6 mètres. 7 traverses.			NORD. acier 38 k. Rails de 6 mètres. 7 traverses.			NORD. acier 30 k. 800. Rails de 8 mètres. 10 traverses.			EST. fer 35 k. Rails de 6 mètres. 7 traverses.		
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.
Rails	74,000	155,85	11.532,90	76,000	232,50	17.670,00	60,600	232,50	14.089,50	70,000	155,85	10.909,50
Éclisses	3,200	154,80	495,36	3,200	154,80	495 36	2,125	154,80	328,95	2,667	155,50	414,72
Éclisses d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Cales d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Coins d'arrêt	0,032	448,50	14,35	0,032	448,50	14,35	0,025	448,50	11,21	»	»	»
Boulons d'éclisses	0,562	268,00	150,62	0,562	268,00	150,62	0,420	268,00	112,76	0,567	254,00	144,02
Broches pour boulons	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Rondelles pour fixer les écrous des boulons	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Crampons	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Tirefonds	1,685	355,00	598,18	1,685	355,00	598,18	2,700	355,00	958,50	1,840	284,00	522,56
Selles ou platines de joint	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,775	169,85	131,63
Selles ou platines intermédiaires	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Semelles en feutre	Pièces. 2.332	0,04	93,28	Pièces. 2.332	0,04	93,28	Pièces. 2.500	0,04	100,00	»	»	»
Traverses de joint	1.167	5,50	6.418,50	1.167	5,50	6.418,50	1.250	5,50	6.875,00	Pièces. 167	8,50 (a)	1.419,50
Traverses intermédiaires										1.000	7,10 (a)	7.100,00
Totaux	....	....	19.303,19	....	....	25.440,29	....	....	22.475,92	....	....	20.641,93

(a) Chêne créosoté.

VOIE VIGNOLE.

DÉSIGNATION des articles.	EST. acier 30 k. Rails de 6 mètres. 10 traverses.			OUEST. acier 30 k. Rails de 8 mètres. 9 traverses.			ORLÉANS. fer 36 k. Rails de 6 mètres. 7 traverses, joint soutenu.			ORLÉANS. acier 37 k, 300. Rails de 6 mètres. 7 traverses, joint soutenu.		
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.
Rails	60,000	234,55	14.073,00	60,000	215,00	12.900,00	72,000	190,00	13.680,00	74,600	225	16.785,00
Éclisses	2,425	155,50	377,09	3,000	180,00	540,00	3,400	172,50	586,50	3,400	172,50	586,50
Éclisses d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Cales d'arrêt	0,130	206,00	26,78	0,185	210,00	38,85	»	»	»	»	»	»
Coins d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Boulons d'éclisses	0,560	254,00	142,24	0,480	255,00	122,40	0,920	278,50	256,22	0,920	278,50	256,22
Broches pour boulons	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Rondelles pour fixer les écrous des boulons	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Crampons	»	»	»	»	»	»	1,560	287,50	448,50	1,560	287,50	448,50
Tirefonds	2,520	284,00	715,68	1,700	278,40	473,28	»	»	»	»	»	»
Selles ou platines de joint	»	»	»	»	»	»	0,867	245,00	212,42	0,867	245,00	212,42
Selles ou platines intermédiaires	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Semelles en feutre	Pièces. 2.500	0,0415	103,75	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Traverses de joint	»	»	»	»	»	»	Pièces. 167	6,55 (b)	1.093,85	Pièces. 167	6,55 (b)	1.093,85
Traverses intermédiaires	1.250	7,10 (a)	8.875,00	Pièces. 1.125	5,60	6.300,00	1.000	5,25 (b)	5.250,00	1.000	5,25 (b)	5.250,00
Totaux	....	....	24.313,54	....	....	20.374,53	....	....	21.527,49	....	....	24.632,49

(a) Chêne créosoté.

VOIE VIGNOLE.

DÉSIGNATION des articles.	PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.						PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE fer mod. P L M. 36 k. Rails de 6 mètres, joint soutenu, écl. 3 boulons, 6 traverses.			ÉTAT. acier 36 k. 77. Rails de 6 m. 50 c. 7 traverses.		
	acier mod. P M. — 38 k, 40. Rails de 6 mètres. 8 traverses, joint suspendu.			acier mod. P L M-A. 33k30. Rails de 8 mètres. 9 traverses, joint suspendu.								
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.
Rails	76,800	250,00	19.200,00	66,600	250,00	16.650,00	333 rails, 33 / 72 tonn.	52,27 / 241,00	17.423,16	73,540	218,00	16.031,72
Éclisses	3,533	180,00	636,00	1,825	180,00	328,50	666 pièc. 67	0,87	580,00	3,077	200,00	615,40
Éclisses d'arrêt	»	»	»	1,912	180,00	344,25	»	»	»	»	»	»
Cales d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Coins d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Boulons d'éclisses	0,803	310,00	276,93	0,670	310,00	207,70	1.000	0,23	230,00	0,861	300,00	258,30
Broches pour boulons	0,0093	310,00	2,85	0,007	310,00	2,17	666,67	0,61 le cent.	4,07	»	»	»
Rondelles pour fixer les écrous des boulons	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Crampons	1,040	375,00	390,00	»	»	»	4.666,67	0,16	746,67	1,723	235,00	404,90
Tirefonds	Chevillettes. 1.147	375,00	430,12	1,620	375,00	607,50	»	»	»	»	»	»
Selles ou platines de joint	»	»	»	»	»	»	333,33	0,77	256,67	»	»	»
Selles ou platines intermédiaires	»	»	»	1,830	220,00	402,60	1.000	0,44	440,00	»	»	»
Semelles en feutre	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Traverses de joint	»	»	»	»	»	»	166,67	7,48	1.246,69	Pièces. 1.077 (a)	5,50	5.923,50
Traverses intermédiaires	Pièces. 1.333	5,30	7.066,67	Pièces. 1.125	5,30	5.962,50	833,33	5,83	4.858,31			
Totaux	....	....	28.092,60	....	....	24.405,22	....	....	25.785,57	....	....	23.233,82

(a) En chêne.

VOIE VIGNOLE.

DÉSIGNATION des articles.	DOMBES. acier 30 k. Rails de 8 mètres. 8 traverses, joint soutenu.			PERPIGNAN A PRADES. fer 35 k. 50. Rails de 6 m. 20 c. 7 traverses, joint soutenu.			STAATSBAHN (AUTRICHE). fer 37 k. 60. Rails de 6 m. 95 c. 8 traverses, joint suspendu.			STAATSBAHN (AUTRICHE). acier 33 k. Rails de 7 mètres. 8 traverses, joint suspendu.		
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.	tonnes.	fr. c.	fr. c.
Rails	60,000	217,00	13.020,00	70,840	222,00	15.726,00	75,800	205,75	19.512,00	66,000	275,17	18.161,00
Éclisses	1,950	217,00	423,15	642 pièc.	0,96	616,00	288 pièc.	1,525	439,20	286 pièc.	1,80	514,80
Éclisses d'arrêt	»	»	»	»	»	»	288 pièc.	2,275	655,20	286 pièc.	2,575	736,45
Cales d'arrêt	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Coins d'arrêt	0,050	520,00	26,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Boulons d'éclisses	0,388	335,00(a)	129,31	1.284 p.	0,16	205,00	1152	0,1875	216,00	1.144	0,1875	214,50
Broches pour boulons	0,0035	353,00	1,24	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Rondelles pour fixer les écrous des boulons	»	»	»	»	»	»	1152	0,0275	31,67	1.144	0,0275	31,45
Crampons	»	»	»				»	»	»	»	»	»
Tirefonds	1,575	350,00	551,25	5.152 p.	0,14	721,00	5184	0,225	1.166,40	5.148	0,225	1.158,30
Selles ou platines de joints	»	»	»	322 pièc.	0,48	155,00	»	»	»	»	»	»
Selles ou platines intermédiaires	»	»	»	»	»	»	576	0,75	432,00	572	0,60	343,20
Semelles en feutre	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Traverses de joint	Pièces. 1.000	5,75	5.750,00	Pièces. 161 (b)	6,15	990,00	»	»	»	»	»	»
Traverses intermédiaires				969 (c)	4,30	4.167,00	1152	4,50	5.184,00	1.144	4,50	5.148,00
Totaux	....	....	19.900,95	....	....	22.580,00	....	....	27.636,47	....	....	26.307,70

(a) Plus 0 f. 01 c. par tonne.
(b) En chêne.

Les divers exemples rassemblés dans ces tableaux répondent à des conditions très diverses de circulation et de tracé, à des vues très différentes quant à la manière de satisfaire à ces conditions; enfin, les prix d'unités varient dans des limites très étendues. Pour faire une comparaison définitive, il faudra tâcher de ramener ces différents cas à des termes communs.

Mais nous pouvons déjà faciliter la comparaison des résultats bruts contenus dans les tableaux précédents en groupant ensemble dans chaque cas les organes répondant à une même fonction. A ce point de vue nous pouvons distinguer quatre sortes d'organes, savoir :

1° Les rails ;

2° Les pièces servant à relier entre elles les extrémités de deux rails consécutifs et à empêcher l'entraînement des voies, double fonction que nous comprendrons sous le nom d'éclissage ;

3° Les pièces d'attache qui servent à relier les rails aux traverses ;

4° Les traverses.

Nous arrivons ainsi à former le tableau suivant :

Tableau récapitulatif.

	RAILS.	ÉCLISSAGE.	ATTACHE.	TRAVERSES.	TOTAL.
Voies à double champignon. — Fer.					
Nord, 37 kilog.	11.532,90	645,98	3.270,00	6.418,50	21.867,38
Est, symétrique, 37k,500.	11.688,75	1.610,76	2.336,40	7.333,80	22.969,71
— dissymétrique, 35 kilog.	10.909,50	1.610,76	2.351,00	7.333,80	22.205,06
Orléans, symétrique, 36k,500.	13.870,00	865,25	3.226,87	5.727.75	23.689,87
Poids moyen : 36k,500.					
Voies à double champignon. — Acier.					
Nord, 38 kilog (hypothétique).	17.670,00	645,98	3.270,00	6.418,50	28.004,48
Ouest, 38k,750, large coussinet	16.662,50	896,60	5.010,01	7.000,00	29.569,11
— — coussinet ordinaire.	16.662,50	896,60	3.412,96	7.000,00	27.972,06
Orleans, 38 kilog.	17.100,00	865,25	3.226,87	5.727,75	26.919,87
Midi, 37 kilog.	19.240,00	856,49	4.188,33	4.636,75	28.921,57
État, 38 kilog.	16.548,00	963,70	3.492,86	6.000,50	27.005,06
Poids moyen : 37k,95.					
Voies Vignole. — Fer.					
Nord, 37 kilog.	11.532,90	660,33	691,46	6.418,50	19.303,19
Est, 35 kilog.	10.909,50	558,74	654,19	8.519,50	20.641,93
Orléans, 36 kilog.	13.680,00	842,72	660,92	6.343,85	21.527,49
Paris-Lyon-Méditerranée, 36 kilog.	17.423,16	814,07	1.443,34	6.105,00	25.785,57
Perpignan à Prades, 35k,500.	15.276,00	821,00	876,00	5.157,00	22,580,00
Staatsbahn, 37k,900.	19.512,00	1.342,07	1.598,40	5.184,00	27.636,47
Poids moyen : 36k,23.					
Voies Vignole. — Acier.					
Nord, 38 kilog.	17.670,00	660,33	691,46	6.418,50	25.440,29
— 30k,300	14.089,50	452,92	1.058,50	6.875,00	22.475,92
Est, 30 kilog.	14.073,00	546,11	819,43	8.875,00	24.313,54
Ouest, 30 kilog.	12.900,00	701,25	473,28	6.300,00	20.374,53
Orléans, 37k,300.	16.785,00	842,72	660,92	6.343,85	24.632,49
P.-L.-M., mod. P, M. 38k,400	19.200,00	915,82	820,12	7.066,67	28.002,61
— — P L M-A., 33k,300.	16.650,00	782,62	1.010,10	5.962,50	24.405,22
Etat, 36k,770.	16.031,72	873,70	404,90	5.923,50	23.233,82
Dombes, 30 kilog.	13.020,00	579,70	551,25	5.750,00	19.900,95
Staatsbahn, 33 kilog.	18.161,00	1.497,20	1.501,50	5.148,00	26.307,70
Poids moyen : 33k,71.					

Ce tableau, tel qu'il est, fait déjà ressortir une comparaison intéressante. La colonne des rails et celle des traverses offrent les chiffres les plus élevés, comme aussi les variations les plus considérables. Ces variations dépendent des prix d'unités, d'une part, du poids des rails et du nombre

des traverses, d'autre part. Nous les discuterons plus loin.

La 2e et la 3e colonne donnent un résultat très net. Pour l'éclissage, il n'y a pas plus de différence dans les chiffres relatifs à deux types différents qu'entre les différents cas particuliers d'un même type. Il y a quatre chiffres qui surpassent notablement les autres; ce sont ceux des voies à double champignon de la Compagnie de l'Est et ceux des Vignole de la Staatsbahn autrichienne. Pour les premiers, ce résultat vient de l'emploi de coussinets-éclisses, par suite duquel la 2e colonne se trouve grevée d'une partie de la dépense qui devrait figurer à la 3e ; par le même motif, le chiffre porté à celle-ci se trouve en effet exceptionnellement faible. Pour la Staatsbahn, c'est le prix d'unité qui est très élevé, comme déjà pour les rails. Ce prix est de 277 francs par tonne pour les éclisses ordinaires et de 396 francs pour les éclisses-cornières ou éclisses-arrêts ; en les comptant à 200 francs, chiffre qui n'est pas atteint dans la plupart des tableaux français, on aurait une réduction de 347f,50. pour la voie en acier. Il y aurait probablement une réduction analogue à faire pour les boulons et certainement pour l'éclissage de la voie en fer, mais les données nous manquent pour la calculer. La même remarque s'applique d'ailleurs aux pièces d'attache.

On peut donc admettre que la consolidation des joints entraîne la même dépense dans les deux systèmes, et cela surtout avec les joints en porte-à-faux qui sont aujourd'hui universellement adoptés pour la voie à double champignon, et qui tendent à prévaloir même pour la voie à patins.

Si nous passons à la 3e colonne, nous trouvons, au contraire, une différence bien accusée entre les deux types. En laissant de côté les quatre cas particuliers déjà signalés à propos de l'éclissage, et, pour un moment aussi, la voie en fer du réseau Paris-Lyon-Méditerranée, nous voyons que le coût des attaches varie, pour la voie à double cham-

pignon, de 3.227 francs à 5.010 francs, et, pour la voie à patins, de 405 à 1.058 francs. Moyenne, 3.637 francs pour huit voies à double champignon, et 721 francs pour treize voies à patin.

Les crampons, tirefonds et chevillettes reviennent à peu près au même dans les deux cas, surtout lorsqu'on emploie les tirefonds, comme on le fait de plus en plus dans les deux systèmes. La différence provient des coussinets et des coins. Voici, en effet, les poids des coussinets avec les prix accusés par les compagnies, en nous bornant aux types actuellement en usage; nous plaçons à la suite la valeur par kilomètre pour les deux cas extrêmes de 1.000 et de 1.250 traverses par kilomètre, répondant à des espacements moyens de 1 mètre et de $0^m,80$ respectivement; à chaque coussinet nous joignons pour ce calcul un coin de 10 centimes.

	POIDS.	PRIX de la tonne.	VALEUR.	VALEUR par kilomètre.	
				à 1.000 traverses.	à 1.250 traverses.
	kilog.	francs	francs	francs	francs
Ouest, coussinet ordinaire	9,075	108,30	0,937	2.074	2.592
— — à large semelle.	15,100		1,635	3.470	4.337
— — à large semelle et à trois nervures.	15,700		1,700	3.600	4.500
Orléans	9,700	119,40	1,158	2.516	3.145
Midi, premier type.	8,400	142,50	1,197	2.594	3.242
— modèle 1869	10,500		1,496	3.192	3.960
— large semelle (à l'essai). . .	14,500		2,066	4.332	5.415
État	9,600	140,00	1,341	2.888	3.610
London, Chatham and Dover (1).	20,000	108,30	2,166	4.532	5.565

(1) Renseignements fournis par M. Bergeron ; on a appliqué le prix de la compagnie de l'Ouest (1879) le plus bas de ceux qu'accusent les compagnies françaises. En Angleterre, ils ne valent que 75 à 80 francs la tonne.

Nous avons laissé de côté la voie Vignole en fer de la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, type aujourd'hui abandonné en principe, mais encore existant sur d'assez grandes étendues. Il nous fournit le cas le plus accentué,

parmi ceux de nos tableaux, de l'emploi d'un organe qui, parfois, vient, dans la voie Vignole, compenser dans une certaine mesure l'emploi des coussinets ; nous voulons parler des selles, sur le rôle desquelles nous reviendrons plus loin.

La voie en fer modèle P L M, où le joint est sur traverse, comporte l'emploi de selles de joint et d'un certain nombre de selles intermédiaires, qui varie suivant que la voie est plus ou moins fatiguée et les traverses plus ou moins rapprochées. L'exemple que nous donnons, d'après une des réponses au questionnaire, suppose que sur six traverses par rail de 6 mètres, il y en a quatre qui sont munies de selles, représentant une valeur de 696f,67 par kilomètre de voie. En supposant même des selles à toutes les traverses, on n'arriverait qu'à un total de 890 francs par kilomètre à 1.000 traverses et de 1.210 francs par kilomètre à 1.250 traverses.

Des selles sont encore employées, comme on le voit par nos tableaux, dans les voies Vignole de la compagnie d'Orléans, dans la voie en fer de l'Est, dans la voie en acier mod. P L M-A de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, dans la voie en fer de la ligne de Perpignan à Prades, dans les deux types de la Staatsbahn autrichienne. En général, on n'en munit qu'une partie des traverses. Voici les poids et les prix de ces organes :

	POIDS de la pièce.	PRIX par tonne.	PRIX de la pièce.
	kilog.	francs	francs
Est, platine de joint	2,330	169,85	0,40
Orléans, selle de joint	2,600	245,00	0,637
Paris-Lyon-Méditerranée, selle de joint	»	»	0,77
— — selle intermédiaire	1,830	240,00	0,44
Perpignan à Prades	2,000	240,00	0,48
Staatsbahn, voie acier, système III	»	»	0,75
— voie fer, système II	»	»	0,60

En définitive, l'emploi du coussinet représente, par

rapport à celui du patin, un excédent de dépense qui, suivant le prix des coussinets et suivant que la voie Vignole est ou n'est pas munie de selles, varie de 1.000 à 5.500 fr., et se tient d'ordinaire entre 2.500 et 4.000 francs.

Au point de vue de la dépense des traverses, le tableau récapitulatif ne fait pas ressortir une différence marquée entre les deux types de voie.

Pour les dix exemples de voie à double champignon, la dépense moyenne est de 6.359^{f},73 par kilomètre, et pour les seize exemples de voie Vignole, 6.399^{f},43. La différence serait donc insignifiante.

Mais le résultat de la comparaison est évidemment troublé par l'intervention du prix des traverses, très différent d'une compagnie à l'autre, car il varie dans les tableaux depuis 4^{f},25 (Midi) jusqu'à 7^{f},10 (Est) pour les traverses ordinaires et 8^{f},50 pour les traverses de joint (Est). Mais il est facile d'éliminer cette cause d'erreur en recherchant directement dans les tableaux de détail le nombre des traverses par kilomètre pour chaque cas. Nous formons ainsi le tableau suivant :

DOUBLE CHAMPIGNON.	
Nord, fer, 37 kilog.	1.167
Est, fer, symétrique	1.000
— fer, dissymétrique	1.000
Ouest	1.250
Orléans, fer, 36^{k},500	1.091
— acier, 38 kilog.	1.091
Midi	1.091
État	1.091
Moyenne	1.098

VIGNOLE.	
Nord, fer, 37 kilog.	1.167
— fer, 38 kilog.	1.167
— acier, 30^{k},300	1.250
Est, fer	1.167
— acier	1.250
Ouest	1.125
Orléans	1.167
Paris-Lyon-Méditerranée, acier, mod. P M.	1.333
Paris-Lyon-Méditerranée, acier, 33^{k},300	1.125
Paris-Lyon-Méditerranée, fer	1.000
État	1.077
Dombes, acier	1.000
Perpignan à Prades	1.130
Staatsbahn, acier	1.144
— fer	1.152
Moyenne	1.150

Il ne faut pas perdre de vue, dans cette comparaison, que le nombre des traverses ne peut pas varier d'une manière

continue; il en faut un nombre entier par longueur de rail, et beaucoup de particularités du tableau précédent n'ont pas d'autre explication. Ainsi, pourquoi la compagnie d'Orléans n'emploie-t-elle que 1.091 traverses dans sa voie à double champignon, tandis que sa voie Vignole, qui n'est cependant posée que sur des lignes secondaires, en compte 1.167? Évidemment parce que ses rails Vignole ont 6 mètres et que, jugeant que c'était trop peu de six traverses, ce qui qui faisait 1.000 par kilomètre, elle a dû aller jusqu'à sept, tandis que ses voies à double champignon sont en rails de 5^m,50 avec six traverses. Du reste, elle pose actuellement une septième traverse, au moins dans les parties de voies les plus fatiguées, ce qui porte le nombre à 1.272 par kilomètre. La grande voie de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée est en rails de 6 mètres, ce qui ne comportait pas de solution intermédiaire entre 1.167 traverses (7 par rail) et 1.333 (8 par rail).

D'autre part, les nombres indiqués aux tableaux n'ont rien d'absolu, et pour un même type de voie, sur une même ligne, on fait varier le nombre des traverses suivant les conditions locales.

Cependant ces nombres représentent la règle normale, et la discontinuité dont nous venons de parler doit disparaître jusqu'à un certain point dans la moyenne qui s'applique à des longueurs de rails assez diverses. Il n'est donc pas permis de refuser *à priori* toute valeur aux moyennes du tableau précédent, qui comprend d'ailleurs tous les types importants du réseau français.

La moyenne générale pour la voie Vignole est de 1.150 traverses, et pour la voie à double champignon de 1.098. La différence est d'un peu moins de 5 p. 100.

Il paraît donc, jusqu'à preuve du contraire, résulter de ce qui précède que, toutes choses égales d'ailleurs, la voie Vignole comporte une augmentation de 5 p. 100 environ dans le nombre des traverses.

Examinons si ce résultat peut se justifier de quelque manière.

On peut remarquer que le type Vignole est d'introduction relativement récente, et que les dispositions de détail adoptées dans l'établissement des voies de ce type ont dû se ressentir de la tendance générale à l'augmentation du nombre des traverses, tendance qui résulte elle-même des exigences toujours croissantes du trafic, au point de vue des charges, des vitesses et de l'activité de la circulation. Dans les voies à double champignon, d'origine plus ancienne, cette tendance, ayant à lutter contre des faits acquis et des règles établies, a pu mettre plus de temps à se manifester.

D'autre part, il s'est trouvé que les compagnies qui ont adopté le rail Vignole, celles du Nord, de l'Est, de Paris-Lyon-Méditerranée en partie, celle des Dombes, ont profité de la substitution de l'acier au fer pour diminuer considérablement le poids du rail. Ce fait a-t-il quelque rapport avec le choix fait entre les deux types de voies? c'est ce que nous aurons à rechercher plus loin. Mais il n'a certainement pas été sans influence sur le nombre des traverses.

Voilà deux causes en quelque sorte extrinsèques dont il faut tenir grand compte. Cependant la comparaison ci-dessus rappelée des deux types de voies appliquées à la compagnie d'Orléans, et ce fait que c'est la voie Vignole P M, du poids de 38k,40 par mètre de rail, qui nous offre le nombre maximum des traverses, portent à penser qu'il y a aussi des causes intrinsèques.

Pour rechercher celles-ci, il faut nous reporter au double rôle des traverses, qui est de recevoir et de reporter sur le ballast la charge des rails, d'une part, et, d'autre part, de maintenir les deux files de rails dans une position relative invariable.

Au point de vue de la pression exercée sur le ballast, la

forme du rail est évidemment indifférente. Il n'en est pas de même pour ce qui est de la pression exercée par le rail sur la traverse. La surface de contact entre le patin du rail Vignole et la traverse est bien moindre que la base du coussinet, et, par conséquent, la pression par centimètre carré au contact est plus grande. En multipliant les traverses, on compense jusqu'à un certain point cette différence. Mais une augmentation de 5 p. 100 ou même de 10 p. 100 est sans proportion avec l'inégalité à compenser; elle ne produit d'ailleurs son effet que si l'on tient compte de la solidarité établie par le rail entre deux traverses voisines, et n'en produit aucun si l'on admet, ainsi qu'on le fait d'habitude, qu'au moment où un essieu passe sur une traverse, celle-ci en porte intégralement la charge. Cela est d'autant plus près d'être exact que le rail est moins rigide, et c'est là, pour le dire en passant, ce qui fait qu'il y a une certaine compensation entre le poids du rail et le nombre des traverses.

Au point de vue de la position relative des rails, l'emploi des coussinets facilite le rôle de la traverse, en ce que les efforts qui tendent à écarter les deux rails l'un de l'autre agissent simultanément sur les deux pièces d'attache de rail, grâce à la solidarité que le coussinet établit entre elles. Il n'en est pas de même dans la voie Vignole, à moins de dispositions spéciales sur lesquelles nous reviendrons. Avec ce type également, la tendance au déversement du rail dans les courbes est peut-être combattue moins efficacement. Il peut y avoir là un motif d'augmenter le nombre des traverses, surtout dans les courbes. Ce fait que c'est surtout ou même exclusivement dans les courbes prononcées que cette augmentation aurait sa raison d'être, expliquerait pourquoi cette augmentation, bien que proportionnellement considérable aux points où on l'applique, n'aurait qu'une influence peu sensible sur l'ensemble des réseaux.

Nous devons ajouter qu'à la question n° 14, qui est relative au nombre et à l'espacement des traverses, les réponses ont été généralement négatives. La compagnie d'Orléans, bien que partisan du rail à double champignon, s'exprime ainsi : « Nous ne pensons pas qu'il y ait des raisons pour procéder autrement dans un système de voie que dans l'autre. »

Lorsque la voie Vignole est à joints soutenus, disposition complètement abandonnée pour la voie à double champignon, à cause des pièces spéciales qu'elle exige, il peut en résulter une augmentation, non pas du nombre, mais du prix moyen des traverses, à causes des dimensions plus grandes qu'on exige généralement pour la traverse de joint.

Cette augmentation est la suivante dans les différents exemples portés aux tableaux ci-dessus :

	NOMBRE des traverses		PRIX des traverses		DIFFÉRENCE.	COUT total des traverses.	DÉPENSE provenant de l'emploi des traverses de joint.
	total.	de joint.	ordinaires.	de joint.			
			francs	francs	francs	francs	francs
Est, fer.	1.167	167	7,10	8,50	1,40	8.519,50	233,80
Orléans, fer, acier. . .	1.167	167	5,25	6,55	1,30	6.343,85	217,10
Paris-Lyon-Méditerranée, fer	1.000	167	5,83	7,48	1,65	6.105,00	275,55
Perpignan à Prades.	1.130	161	4,30	6,15	1,85	5.157,00	297,85

C'est donc une dépense de 200 à 300 francs qui est motivée par l'emploi des joints soutenus. Toutefois la compagnie du Nord et celle des Dombes, qui seules ont conservé le joint soutenu, ont renoncé à l'emploi des traverses spéciales. On se borne à choisir dans l'ensemble des fournitures les plus belles traverses.

Comme complément d'information sur ce point, rapportons le tableau suivant tiré d'un rapport de M. Renard,

ingénieur des ponts et chaussées à Nevers, et donnant les prix des deux sortes de traverses à diverses époques :

Années	1864.	1869.	1874.	1878.	1879.	MOYENNE.
	francs	francs	francs	francs	francs	francs
Joints	8,80	6.60	6,60	7,70	7,48	7,43
Intermédiaires . .	5,77	5,22	4,95	5,83	5,83	5,52
Différence. .	3,03	1,38	1,65	1,87	1,65	1,91

Pour évaluer approximativement en argent la petite différence qui paraît exister entre les deux types de voie pour le nombre des traverses, reportons-nous au tableau récapitulatif.

Nous trouvons que, pour l'ensemble des cas qui y figurent, la dépense moyenne d'achat des traverses serait de 6.384 francs, ou, en nombres ronds, 6.400 francs.

Si nous admettons une différence de 5 p. 100 en moins dans la voie à double champignon, ce serait donc environ 300 francs auxquels il faudrait en ajouter encore 200 à 300 lorsqu'on emploie des traverses de joint pour la voie Vignole.

Au total, il y aurait donc, de par le nombre des traverses et abstraction faite de la différence qui peut se présenter sous le rapport du choix des essences, une somme de 300 à 600 francs par kilomètre à porter en plus au compte de la voie Vignole. Cette différence est peu de chose en comparaison de la valeur des coussinets. Encore est-elle contestable.

Passons maintenant aux rails.

La comparaison des sommes dépensées aurait peu d'intérêt à cause des grandes variations de prix. Recourons directement aux poids.

Le tableau récapitulatif nous donne les résultats suivants :

	POIDS MOYEN du mètre de rail.
	kilog
Double champignon, fer. . . .	36,50
— — acier. . .	37,95
Vignole, fer.	36,23
— acier	33,71 32,72 (moyenne rectifiée)

Cette dernière moyenne a été obtenue en écartant de la liste des rails Vignole en acier le rail du Nord de 38 kilog. et celui d'Orléans, qui sont abandonnés, par la même raison qui nous a fait attribuer au rail des Dombes le poids de 30 kilog. actuellement adopté, tandis que la plus grande partie des voies sont construites avec un rail de $28^{k},50$.

On voit qu'il a en moyenne 5 kilog. par mètre de différence entre les rails à double champignon en acier et les rails Vignole également en acier. Cette différence tient-elle à la forme adoptée ou à d'autres circonstances ?

Il ne faut pas s'arrêter à ce fait que la même différence ne se rencontre pas pour les deux formes de rails lorsqu'ils sont en fer. En effet, les compagnies étaient obligées par leurs cahiers des charges d'employer des rails de 35 kilog. au moins ; eussent-elles reconnu la possibilité de réduire le poids par l'emploi de la forme Vignole, qu'elles n'étaient pas libres de le faire ; d'ailleurs, au moment où elles innovaient déjà pour la forme en introduisant un profil très discuté, il eût été peu rationnel de compliquer l'expérience d'une réduction dans le poids.

Mais ce changement de profil avait déjà produit un changement remarquable au point de vue qui nous occupe : c'était la suppression presque totale des ruptures de rails. M. Coüard, inspecteur principal de la voie au chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée, qui rappelle ce fait dans une

publication récente du plus grand intérêt (*), l'attribue à ce que le patin du rail est en fer nerveux, beaucoup moins cassant que le fer à grain du champignon, surtout par le choc. C'est aussi l'opinion qu'exprime la Compagnie de l'Est dans sa réponse au questionnaire. Il est impossible de nier l'influence de cette circonstance. Mais jusqu'à ce qu'il soit démontré qu'elle suffit seule à expliquer une réduction qui ne va pas à moins des 7/8 du total des ruptures, d'après les relevés que rapporte M. Coüard, il est permis de voir là au moins une présomption de supériorité en faveur de la forme Vignole sous le rapport de la résistance.

Pour pousser plus loin la comparaison, nous devons d'abord rechercher ce qui détermine le poids du rail. Est-il avant tout un support destiné à résister à certains efforts qui tendent à le rompre, ou bien est-on conduit par d'autres considérations à en augmenter le poids sensiblement au delà de ce qu'exigerait la considération du travail moléculaire ? Dans le premier cas, la meilleure répartition du métal dans la section a une importance prédominante. Dans le second, elle se réduit à un rôle secondaire.

Cette question, posée dans l'enquête sous le n° 13, n'a pas reçu en général de réponse bien catégorique, et les opinions sont divergentes. Cependant celle qui paraît dominer est qu'on doit avant tout, dans la détermination du poids, se préoccuper des considérations de résistance, sauf, bien entendu, à adopter un coefficient de sécurité suffisant pour tenir compte des efforts accidentels ou anormaux que le rail peut avoir à supporter par suite des mouvements du matériel roulant, du tassement de la voie, etc. La Compagnie du Midi fait remarquer qu'il serait coûteux de chercher un accroissement de stabilité dans l'augmentation du poids des rails, alors que d'autres éléments de la voie peu-

(*) Note sur les ruptures de rails constatées sur le réseau du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée (*Revue générale des chemins de fer.* — Août 1880.).

vent procurer le même résultat à moins de frais. La Compagnie de l'Est fait une observation d'ordre purement technique qui paraît concluante.

Elle fait remarquer que le poids de la voie proprement dite, partie métallique et traverses, varie, sur les lignes françaises, entre 160 et 200 kilogrammes par mètre, tandis que le poids roulant des machines peut atteindre 12.000 kilogrammes. Une addition de 10 ou même de 20 kilogrammes au premier de ces deux poids est évidemment sans influence sur la manière dont il obéit à l'impulsion du second. C'est par la cohésion du ballast et non par l'inertie des masses métalliques que la voie résiste aux chocs des machines.

Le rapprochement est moins saisissant pour les autres véhicules; il le devient beaucoup moins, surtout, si l'on considère isolément le système des essieux et des roues, dont les mouvements, grâce à l'interposition des ressorts, sont dans une certaine indépendance par rapport à ceux du véhicule entier. Cependant, en comptant à 1.500 kilogrammes le poids d'un essieu monté, et en supposant ce poids uniformément réparti sur la voie, ce qui est certainement excessif, il reste encore, avec les plus grands écartements d'essieux, une masse de 550 à 600 kilogrammes par mètre, en contact avec le rail. En joignant ce poids à celui de la voie, on obtient un total de 700 à 800 kilogrammes, en comparaison duquel l'augmentation de 20 kilogrammes qu'on peut obtenir en ajoutant 10 kilogrammes à chaque mètre de rail est évidemment trop faible pour atténuer utilement l'amplitude des oscillations.

Le rail est donc essentiellement un support qui agit par la résistance de ses fibres et non par sa masse. Les formes, sans doute, n'en sont pas déterminées par la seule considération de la résistance à la rupture; il faut offrir une surface convenable au roulement et aux chocs des roues, des points convenables d'attache et d'appui sur les sup-

ports, etc.; mais ces conditions générales étant satisfaites d'ailleurs, on déterminera les dimensions de manière que la tension de la fibre la plus fatiguée ne dépasse jamais une certaine limite et aussi ne descende pas inutilement au-dessous de la limite qui offre une sécurité suffisante; il reste à ajouter ensuite sur la surface de roulement une certaine épaisseur destinée à parer à l'usure, au moins pour les rails en acier. La considération du travail moléculaire garde donc toute sa valeur, et si l'un des profils de rails présente un avantage à cet égard, il permettra, par cela seul, de diminuer le poids du rail.

En fait, c'est par des considérations de résistance que s sont laissé guider les compagnies qui ont réduit le poids du rail Vignole, et notamment celle du Nord, qui a donné l'exemple. Si la Compagnie de l'Ouest n'emploie son rail de 30 kilogrammes, et celle de Paris-Lyon-Méditerranée, son rail de 33 kilogrammes, que sur les voies secondaires, les Compagnies du Nord et de l'Est emploient le leur sur les lignes les plus chargées comme importance et vitesse de la circulation.

Cela posé, il est facile de voir que le profil à patin est favorable à la réduction du travail moléculaire. La forme parfaite à ce point de vue, serait celle du fer à double T; on ne peut pas l'employer du côté du roulement; on s'en rapproche de l'autre côté par l'emploi du patin, et en disposant ainsi le métal le plus loin possible de la fibre neutre, on améliore les conditions de résistance.

Le meilleur moyen de s'en assurer est de comparer les moments de résistance des principales sections de rails en usage sur nos divers réseaux. Cette comparaison résulte du tableau suivant :

DÉSIGNATION DU RAIL.		SECTION S	POIDS (Densité : 7,60 pour le fer ; 7,82 pour l'acier).	MOMENT d'inertie par rapport à un axe horizontal passant par la fibre neutre I	RAPPORT $\frac{I}{S}$	DISTANC de la fibre ne au sommet V	à la b V
		mq.	kilog.			mètres.	mèt
RAILS VIGNOLE. Types français actuels.				0,0000			
Nord	Acier.	0,003871	30,300	07891	0,002040	0,062	0,(
Est	*Idem*..	0,003843	30,052	07440	0,001936	0,060	0,(
Ouest	*Idem*..	0,003871	30,300	11000	0,002040	0,062	0,0
Paris-Lyon-Méditerranée, mod. P L M-A	*Idem*..	0,004198	32,790	07509	0,002104	0,0613	0,0
Paris-Lyon-Méditerranée, mod. P M	*Idem*..	0,004892	38,255	07891	0,002249	0,070	0,0
Dombes	*Idem*..	0,003584	27,238	08826	0,002116	0,621	0,0
Moyenne		»	»	08426	0,002081	»	»
Autres types.							
Nord	Fer...	0,004895	37,202	09880	0,001916	0,064	0,0
Orléans	*Idem*..	0,004742	36,040	09530	0,002009	0,066	0,0
RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON Types français actuels.							
Ouest	Fer .... / Acier...	0,004917	37,369 / 38,451	09418	0,001914	0,065	0,0
Orléans	Fer .... / Acier...	0,004904	37,270 / 38,350	09336	0,001903	0,0662	0,0
Midi	Fer .... / Acier...	0,004821	36,639 / 37,700	09970	0,002068	0,067	0,0
Moyenne		»	»	09639	0,001962	»	»
Autres types.							
Est-Strasbourg	Fer...	0,004844	36,810	09128	0,001884	0,065	0,0
Est-Mulhouse	*Idem*..	0,004657	35,393	07803	0,001675	0,061	0,0
London-Chatam and Dover	Acier..	0,005870	41,993	10902	0,002030	0,062	0,0
Great-Eastern	*Idem*..	0,005442	42,556	11740	0,002157	0,064	0,0

RAPPORT				MOMENT d'inertie par rapport l'axe vertical de symétrie i	RAPPORT $\frac{i}{S}$	DISTANCE de la fibre neutre		RAPPORT			
$\frac{I}{V}$	$\frac{\left(\frac{I}{V}\right)}{S}$	$\frac{I}{V'}$	$\frac{\left(\frac{I}{V'}\right)}{S}$			au bord du champignon v	au bord du patin ou du champignon inférieur v'	$\frac{i}{v}$	$\frac{\left(\frac{i}{v}\right)}{S}$	$\frac{i}{v'}$	$\frac{\left(\frac{i}{v'}\right)}{S}$
,000		0,000		0,00000	0,000			0,0000		0,0000	
1272	0,0329	1252	0,0323	1061	2741	0,028	0,0485	3789	0,00979	2187	0,00568
1340	0,0323	1240	0,0323	1159	3015	0,0285	0,0495	4066	0,01057	2341	0,00609
1272	0,0329	1252	0,0323	1061	2741	0,028	0,0485	3789	0,00979	2187	0,00568
1439	0,0343	1333	0,0317	1291	3078	0,030	0,0500	4301	0,01026	2582	0,00614
1571	0,0321	1833	0,0375	2511	5132	0,030	0,0650	8370	0,01710	3863	0,00789
209	0,0341	1198	0,0336	0932	2226	0,027	0,0475	3452	0,00963	1962	0,00547
334	0,0331	1350	0,0333	»	»	»	»	»	»	»	»
165	0,0299	1537	0,0318	2298	4694	0,031	0,0525	7413	0,01514	4375	0,00894
144	0,0304	1489	0,0314	1510	3184	0,030	0,0500	5033	0,01061	3020	0,00637
148	0,0294	1448	0,0294	1022	2078	0,031	0,031	3296	0,00670	3296	0,00670
110	0,0287	1410	[illegible]	0918	1871	0,030	0,030	3060	0,00623	3060	0,00623
88	0,0308	1488	0,0308	1012	2099	0,0305	0,0305	3318	0,00688	3318	0,00688
48	0,0296	1448	0,0296	»	»	»	»	»	»	»	»
04	0,0289	1404	0,0289	0865	1785	0,030	0,030	2883	0,00595	2883	0,00595
78	0,0274	1145	0,0242	0841	1805	0,0325	0,0355	2587	0,00555	2298	0,00708
58	0,0327	1473	0,0374	1852	2517	0,033	0,032	4096	0,00763	4225	0,00786
84	0,0337	1546	0,0384	1871	2519	0,033	0,032	4154	0,00763	4334	0,00787

On sait que si l'on appelle I le moment d'inertie de la section d'une poutre par rapport à un axe perpendiculaire à la direction de la charge et passant par le centre de gravité de la section, la tension de la fibre située à une distance V de ce centre est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au rapport $\frac{V}{I}$, et, par conséquent, si l'on désigne spécialement par V la distance de la fibre la plus éloignée du centre de gravité, la résistance à la rupture sera proportionnelle à $\frac{I}{V}$.

Si l'on compare les valeurs de $\frac{I}{V}$ (fibre supérieure) et de $\frac{I}{V'}$ (fibre inférieure) portées au tableau, on trouve qu'en moyenne ces valeurs sont plus fortes pour les rails à double champignon que pour les rails à patin. Mais aussi les poids sont plus considérables. Pour comparer les deux formes au point de vue du bon emploi du métal, il faut évidemment diviser le rapport $\frac{I}{V}$, qui mesure la résistance, par la section du rail, qui est proportionnelle au poids. C'est ce que nous avons fait dans une colonne spéciale.

Mais la résistance à la rupture n'est pas le seul point à considérer. La flexibilité a aussi son importance, et l'on sait que la flèche sous une charge donnée est en raison inverse du moment d'inertie. C'est pourquoi nous avons donné dans deux colonnes spéciales les moments d'inertie et leurs rapports à la section.

En se bornant aux formes actuellement adoptées sur les réseaux français, on obtient pour ces quantités les moyennes suivantes :

	I	$\frac{I}{S}$	$\frac{I}{V}$ (sommet)	$\frac{\left(\frac{I}{V}\right)}{S}$	$\frac{I}{V'}$ (base)	$\frac{\left(\frac{I}{V'}\right)}{S}$
	0,00000	0,00	0,000	0,0	0,000	0,0
Rails Vignole.	8426	2081	1334	331	1350	333
Rails à double champignon.	9639	1962	1448	296	1448	296
Différence. . . .	»	0119	»	035	»	037
Soit p. 100.	»	6,0	»	11,8	»	12,5

Ce mode de comparaison des deux types de rails suppose les portées égales, c'est-à-dire un même espacement des traverses dans les deux types de voie. On peut se demander si le mode d'attache sur la traverse ne réalise pas un encastrement plus ou moins complet qui peut, à portée égale, modifier les conditions de résistance et de rigidité du rail. Il serait fort difficile de tenir compte exactement de cette circonstance par le calcul et même de savoir si l'on se rapproche plus ou moins de l'encastrement parfait avec le coin, qui serre le rail dans le coussinet, ou avec les deux tirefonds, qui pressent le patin sur la traverse.

On voit nettement par ces résultats que les rails à double champignon présentent, absolument parlant, une flexibilité moindre et une plus grande résistance à la rupture, mais que cela provient uniquement de leur poids plus considérable. Les rails Vignole ont, au contraire, à section égale et, par conséquent, à poids égal, un avantage marqué. Le métal est donc mieux utilisé avec ce profil.

L'avantage est surtout marqué en ce qui concerne la résistance à la base. Ce point est important à noter, car c'est généralement par la base que commence la rupture des rails.

On arrive au même résultat, avec un avantage encore plus prononcé en faveur du rail Vignole, en comparant les rails à double champignon avec le rail P M de la compa-

gnie de Lyon, le seul des rails à patin qui leur soit comparable pour la section.

Le résultat serait un peu modifié si nous faisions intervenir les deux rails anglais qui figurent au bas du tableau, et qui pèsent 42 kilogrammes et plus par mètre courant. Leur moment d'inertie est à peu près égal à celui du rail P M, et si, à section égale, ils restent au-dessous de celui-ci, ils égalent la moyenne des rails Vignole français. Au point de vue de la rupture, ils surpassent notablement en résistance absolue tous les rails Vignole en ce qui concerne la fibre supérieure, et ils les égalent à égalité de section; mais ils restent sensiblement au-dessous d'eux pour la résistance à la base, qui est la plus importante. De ce côté, ces rails dissymétriques restent dans les mêmes conditions que les rails français symétriques.

Les dernières colonnes du tableau se rapportent aux moments d'inertie par rapport à l'axe vertical du rail, moments qui interviennent pour la résistance aux efforts transversaux. A ce point de vue, les rails à patin l'emportent considérablement, comme on pouvait le prévoir. Ainsi le rail P M a un moment d'inertie presque double de celui des rails anglais de 42 kilogrammes et, par conséquent, présente une flexibilité moitié moindre, ce qui n'est pas sans importance au point de vue des chances de déraillement et de la douceur du roulement.

Cette comparaison théorique ne donne pas, lorsqu'il s'agit de rails en fer, une idée complètement exacte de la valeur relative des deux profils, à cause de la nature hétérogène du métal. Nous avons déjà remarqué que, dans la pratique, le rail à patin tire une supériorité de résistance très considérable de la faculté de faire le patin en fer nerveux. Pour les rails en acier, ou, pour parler plus exactement, en métal fondu, la comparaison théorique est certainement beaucoup plus voisine de la vérité pratique, le métal étant entièrement homogène dans toute la section.

Cependant rien, dans une pareille question, ne vaut les faits, lorsqu'ils sont bien établis. On se rappelle les expériences spéciales exécutées en Allemagne, il y a trente ans, par ordre du gouvernement prussien, pour la comparaison des deux formes au point de vue de la résistance à la rupture. Elles avaient conclu à une légère supériorité du rail à patin à ce point de vue, tout en attribuant au rail à double champignon la propriété de résister un peu mieux à la déformation permanente. Mais les différences étaient faibles, et à peu près du même ordre que celles qu'on observe entre deux rails différents de la même catégorie (*).

On pouvait espérer que les faits nombreux qui ont pu être observés depuis lors, soit dans les expériences spéciales qu'ont pu entreprendre quelques compagnies de chemins de fer, soit dans les essais de réception des rails, auraient jeté quelque lumière sur la question. Les résultats de l'enquête n'ont pas répondu à cette attente. Peu de faits précis ont été mis en évidence.

Comme élément d'information, nous pouvons cependant présenter le tableau des conditions imposées par les cahiers des charges pour la réception des rails. Ce ne sont que des limites supérieures et non pas des moyennes; mais ces limites représentent au moins l'opinion et les exigences des compagnies, qui les ont formulées elles-mêmes d'après l'expérience acquise.

(*) Couche : *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer.* — Tome I[er], p. 29.

ÉPREUVES DE RÉCEPTION.

	ÉPREUVE STATIQUE.					ÉPREUVE AU CHOC. points d'appui espacés de 1m, 10. poids du mouton : 300 k.					OBSERVATIONS.
	espacement des points d'appui.	charge que le rail doit supporter pendant 5 minutes : sans conserver de flèche permanente sensible	sans dépasser une flèche totale déterminée : Flèche	sans dépasser une flèche totale déterminée : Charge	sans se rompre.	Hauteur de chûte qui ne doit pas déterminer la rupture.	Flèche que le rail doit prendre, à très peu près, sous des hauteurs de chûte de : $1^m,00$.	$1^m,50$.	$2^m,00$.	$2^m,50$.	
RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON EN ACIER.	mètres.	kilog.	millim.	kilog.	kilog.	mètres.	millim.	millim.	millim.	millim.	
Ouest, 38,75	1,00	16.000	6	25.000	40.000	2,00	1	3	8	15	
Orléans, 38 k...............	1,10 ou 1,00	16.000	»	»	38.000	1,50	Flèche < $0^m,008$.				Le métal est en outre essayé à la trempe et sous forme de lame de ressort.
État, 38 k................		18.500	»	»	40.000						
Midi, 37 k................	1,10	16.000	»	»	35.000	1,75	Le rail doit se rompre sous une chute de 4 mètres.				Même observation.
RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON EN FER.											
Nord, 37 k	1,10	12.000	»	»	30.000	2,00					
Orléans, 36 k, 5	1,10	12.000	»	»	25.000	2,00					
Midi, 36 k, 5	1,10	12.000	»	»	30.000	1,50	Mouton de 200 k. seulement.				

RAILS VIGNOLE EN ACIER.

							mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	
Nord, 37 k	1,00	20.000	25	35.000	»	2,50	1	3	6	»	»	11	
— 35 k	1,00	18.500	25	33.000	»	2,40	1	3 1/2	7 1/2	»	12	»	
— 30 k	1,00	17.000	25	30.000	»	2,25	2	5	11	16	»	»	
Est, 36 k	1,10	18.500	25	33.000	»	2,40	1	3 1/3	7	»	12	»	
— 30 k	1,10	17.000	25	30.000	»	2,25	1	3 1/2	8	13	»	»	
Ouest, 30 k	1,00	14.000	6	32.000	35.000	2,00	2	6	15	25	»	»	
Dombes, 30 k	1,00	16.000	25	28.000	»	2,00	3	8	15	»	»	»	
P.-L.-M., mod. P M, 38 k 4.	5,00	3.000	»	»	»	2m, 00	Sous la hauteur d'épreuve ci-contre, pas de flèche permanente supérieure à : 8 millimètres.						En outre, le métal doit prendre la trempe et on l'essaye sous forme d'outils.
	1,00	»	< 1/2	30.000	40.000								
— mod. P L M,-A, 33k,3	5,00	2.500	»	»	»	1m, 70	8 millimètres.						
	1,00	»	< 1/2	25.000	35.000								
État, 36 k, 77	1,10	16.000	»	»	35.000	2m, 25	16 millimètres.						En outre, essai à la trempe et sous la forme de lames de ressort.
Staatsbahn, 33 k	1,10	13.000	»	»	27.500	Température : < 0° ..... 2m,50; 0 à 20° .... 3m,50; > 20° 4m,50							

RAILS VIGNOLE EN FER.

						Poids du mouton	Hauteur de chute qui ne doit pas déterminer la rupture.
Nord, 37 k	1,10	12.000	»	»	30.000	200 k	Température : < 0° ..... 1m,30; de 0° à 20° ..... 1m,50; > 20° 1m,70
Est, 37 k	1,10	12.000	»	»	30.000	300 k	2m,00

Il n'est guère possible de tirer de ces tableaux une conclusion sûre quant à la question qui nous occupe. Nous voyons bien que les compagnies du Nord et de l'Est, pour leurs rails Vignole de 37 et de 36 kilogrammes, imposent des épreuves plus fortes que les compagnies de l'Ouest, d'Orléans et du Midi pour les rails à double champignon d'un poids égal ou supérieur; la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, pour un rail de $8^{k},40$, impose une charge statique sans flèche sensible qui est, au contraire, un peu moindre (3.000 kilogrammes sur une portée de 5 mètres équivalent à 15.000 kilogrammes sur une portée de 1 mètre), et la limite de rupture est la même. Il est vrai que le fait d'opérer sur une portée de 5 mètres constitue une aggravation.

Le fait le plus concluant nous est offert par la compagnie de l'Ouest, qui réduit toutes les charges d'épreuve dans le rapport de 8 à 7 pour le rail Vignole, comparé au rail à double champignon, tandis que le poids est réduit de 37,75 à 30, soit dans le rapport de 8 à 6,2. La sévérité de l'épreuve est donc augmentée pour le rail Vignole dans le rapport de 6,2 à 7, ou de 1 à 1,13 à égalité de poids. Cela porte à penser que la compagnie a reconnu que le rail Vignole résistait mieux à poids égal. Elle exprime en effet cette opinion, mais par des raisons théoriques, dans sa réponse à la question n° 12 du questionnaire.

La compagnie de l'Ouest nous a communiqué une série intéressante d'expériences sur la résistance des rails, mais cette série n'avait pas pour but la comparaison des deux formes et ne nous apprend rien sur cette question particulière. La compagnie autrichienne des chemins de fer de l'État envoie aussi des expériences analogues, mais qui n'ont pas été faites en vue de la comparaison des deux formes. La compagnie de l'Est rappelle des expériences déjà anciennes qu'elle a faites pour la comparaison des deux

formes, et qui ont conclu en faveur du rail à patin. Mais elles n'ont porté que sur le fer.

Au total, nous n'avons pas de faits bien décisifs isolément; mais il y a un ensemble de faits et de considérations théoriques qui concluent en faveur de la supériorité de résistance du rail Vignole à poids égal, et, par conséquent, aboutissent à une réduction de poids et de dépense.

Remarquons en outre que l'abandon du retournement des rails conduit à une économie incontestable sous le rapport du poids, au moins pour les rails en acier. Nous avons dit, en effet, qu'après avoir déterminé le profil du rail au point de vue de la résistance à la rupture et à la flexion, on ajoute sur la surface de roulement une épaisseur supplémentaire destinée à parer l'usure. En effet, les rails en métal fondu s'usent, tandis que les rails en fer périssent généralement par désagrégation avant d'être usés. Dans un rail destiné à être retourné, il faut mettre cette épaisseur supplémentaire sur les deux champignons, et, dans le cas contraire, sur un seul. On admet généralement aujourd'hui que l'usure devra aller à 10 millimètres; avec une largeur de 56 à 60 millimètres, cela représente un poids d'acier d'environ $4^k,500$ par mètre de rail. Tel est le poids qu'on devra ajouter au champignon inférieur du rail symétrique, non pas précisément sans utilité immédiate, puisque ce métal travaillera comme le reste et atténuera en conséquence la fatigue de l'ensemble, mais au moins sans autre nécessité que celle d'un retournement éventuel et éloigné.

A côté du poids vient se placer le prix. La forme Vignole, surtout avec le large patin de 130 millimètres admis par la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée pour ses grandes lignes, offre certainement des difficultés de laminage plus grandes que la forme à double champignon. Néanmoins, il ne paraît pas que cette différence se traduise par une différence de prix effective dans les soumissions des maîtres

de forges. Nous devons donc admettre que le prix de la tonne est le même.

En résumé, nous trouvons qu'au point de vue de l'établissement, l'emploi de la forme Vignole procure une économie qui est variable avec les conditions de prix et d'installation, mais qui, tant par l'économie du coussinet que par une certaine réduction de poids du rail, s'élève à plusieurs milliers de francs par kilomètre.

Nous avons supposé que les traverses coûtaient le même prix dans les deux systèmes. Ici devrait intervenir une considération relative à la nature de ces supports. Ainsi que nous le verrons en parlant du fonctionnement des voies, la voie Vignole se comporte moins bien, au moins dans les courbes, avec des traverses en bois tendre; si donc on avait de grandes difficultés à se procurer, au moins en proportion notable, des traverses en bois dur, ce pourrait être une raison de préférer la voie à coussinets. Mais il faudrait une grande différence de prix entre les deux sortes de traverses pour contre-balancer l'économie dont nous venons de parler.

Rappelons enfin ce que nous avons dit du ballast. La voie Vignole en exige généralement $0^{mc},25$ de moins par mètre de simple voie; à 5 francs le mètre, c'est une économie de 1.250 francs par kilomètre de voie.

D'après les renseignements fournis par l'enquête, le prix du mètre cube se tient le plus souvent aux environs de 4 et 5 francs. Les prix extrêmes indiqués sont $2^{f},25$ et $7^{f},50$.

Pour résumer sous une forme plus précise la discussion qui précède, nous donnons ci-dessous trois exemples de prix de revient calculés d'après des prix de base identiques.

Les deux premiers sont applicables à des lignes à grand trafic. Pour le double champignon, on a pris à peu près le type de l'Ouest, avec coussinet à large semelle. Les partisans de ce système de voie, en effet, passent condamnation

sur la question du prix d'établissement et estiment que les avantages qu'ils réclament pour lui compensent largement l'écart de prix. Il est donc naturel de se placer dans les conditions nécessaires pour la pleine réalisation de ces avantages, plutôt que de viser à une petite réduction de prix.

Pour la voie Vignole de grandes lignes, on s'est placé à peu près dans les conditions de la voie P M de la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, en portant toutefois la longueur des barres à 8 mètres, et en supposant qu'on emploie pour fixer le rail les tirefonds de 23 millimètres des compagnies du Nord et de l'Est.

Pour la voie Vignole des lignes secondaires, on a supposé le rail réduit à 30 kilogrammes, l'éclissage identique à celui du type des grandes lignes, et les tirefonds également.

Il est inutile d'ajouter qu'on n'entend nullement présenter ces combinaisons comme devant être préférées aux autres d'une manière absolue, encore moins les donner comme une critique des dispositions différentes admises sur nos divers réseaux.

	DOUBLE CHAMPIGNON. rail acier de 38 kilog., barres de 8 mètres, coussinet à large semelle, 10 traverses.			VIGNOLE. GRANDES LIGNES. Rail acier de 38 kilog., barres de 8 mètres, 10 traverses.			VIGNOLE. LIGNES SECONDAIRES. Rail acier de 30 kilog., barres de 8 mètres, 10 traverses.		
	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.	Quantités.	Prix.	Valeur.
	tonnes	francs	francs	tonnes	francs	francs	tonnes	francs	francs
Rails	76,000	230,00	17.480,00	76,000	230,00	17.480,00	60,000	230,00	13.800,00
Eclisses	3,075	180,00	553,50	2,650	180,00	477,00	2,650	180,00	477,00
Cales d'arrêt	»	»	»	0,150	210,00	31,50	0,150	210,00	31,50
Boulons	0,710	290,00	205,90	0,680	290,00	197,20	0,680	290,00	197,20
Tirefonds	2,025	340,00	688,50	2,520	340,00	856,80	2,520	340,00	856,80
Coussinets	38,750	120,00	4.650,00	»	»	»	»	»	»
	pièces								
Coins	2.500	0,10	250,00	»	»	»	»	»	»
				pièces			pièces		
Traverses	1.250	5,50	6.875,00	1.250	5,50	6.875,00	1.250	5,50	6.875,00
Total	...	...	(1) 30.702,90	...	...	25 917.50	...	...	(2) 22.237,50
Total en nombres ronds	...	...	30.700,00	...	...	25.900,00	...	...	22.200,00

(1) Avec des coussinets de 10 kilog., le prix serait de 29.052f,90.
(2) Avec 11 traverses par barre, le prix s'élèverait à 3.010f,68; avec 9 traverses seulement il se réduirait à 1.464f,32.

DEUXIÈME PARTIE.

ENTRETIEN ET RENOUVELLEMENT DES VOIES.

Sous cette double dénomination, nous comprenons les opérations nécessaires pour maintenir constamment une solidarité convenable entre les différentes parties de la voie et pour remplacer les pièces mises hors d'usage par des causes individuelles ou générales. Ici, comme nous l'avons dit en commençant, interviennent à la fois des considérations techniques et des considérations économiques.

L'éclissage se fait aujourd'hui dans des conditions tout à fait identiques pour les deux types de voie, par suite de l'abandon complet pour la voie à double champignon du joint soutenu, qui exigeait des pièces spéciales; et elles deviennent plus complètement identiques encore par suite de la préférence de plus en plus générale qui est accordée au joint en porte-à-faux, même pour la voie Vignole. Les conditions d'entretien et de renouvellement sont donc les mêmes pour cet article, et il n'y a rien de plus à en dire.

Il en est autrement en ce qui concerne la solidarité du rail avec les traverses. Pour la voie Vignole, on maintient cette solidarité en enfonçant les crampons qui peuvent avoir été soulevés ou en resserrant les tirefonds. Pour la voie à coussinets, il faut examiner et au besoin resserrer les attaches du coussinet, et surtout resserrer les coins.

La surveillance nécessaire pour constater l'état des attaches est peut-être plus facile avec la voie à double champignon; les coins sont facilement accessibles, et il est facile de s'assurer, sans même déranger le ballast, si le coussinet est bien fixé sur la traverse; dans la voie Vignole, les crampons ou tirefonds sont, au contraire, cachés sous le ballast à l'extérieur de la voie, et même, jusqu'à un certain point, à l'intérieur. En revanche, les retouches sont plus fréquentes avec la voie à double champignon à cause de l'intervention du coin, qui change de dimension sous les efforts auxquels il est soumis, et surtout par l'influence des agents atmosphériques. Si donc la surveillance est plus facile à exercer avec ce type de voie, elle doit, par compensation, être plus continuelle. Au total, la dépense de main-d'œuvre est-elle plus grande ou moindre dans un système que dans l'autre? Malgré des appréciations contradictoires, la balance semble pencher en faveur de la voie Vignole.

Le bourrage des traverses se fait à peu près dans les

mêmes conditions dans les deux systèmes; cependant la moindre épaisseur du ballast sur les traverses dans la voie Vignole donne une certaine facilité, puisqu'on a moins de ballast à remuer.

Sous le rapport du temps nécessaire pour le changement d'un rail, la voie à coussinets présentait un avantage considérable quand les voies n'étaient pas éclissées. Quelques coins à enlever et à remettre faisaient toute l'affaire. Par contre, on faisait remarquer avec raison que c'était là une facilité pour la malveillance. Avec la voie Vignole, il faut arracher et replacer les crampons, ou bien desserrer et resserrer les tirefonds, ce qui est encore plus long. L'introduction de l'éclissage, en ajoutant une même quantité aux deux termes du rapport, les a rapprochés de l'égalité. Néanmoins l'avantage reste au coussinet.

Quant à l'évaluation numérique de cet avantage, les renseignements sont très divergents. Cela s'explique dans une certaine mesure par la manière différente dont on envisage la question; cependant, en général, on suppose les matériaux amenés à pied d'œuvre et le rail dégagé de ballast, et l'on suppose que le desserrage des boulons d'éclisses ne présente pas de difficultés. Dans ces conditions, la compagnie de l'Ouest évalue à quatre ou cinq minutes au moins le temps nécessaire pour un rail à coussinets et à dix minutes au moins pour un rail Vignole. Celle d'Orléans indique cinq minutes et quinze minutes respectivement. D'après celle du Nord, le temps est sensiblement le même. Les ingénieurs du contrôle s'accordent généralement à indiquer un temps plus long pour le rail Vignole; quelques-uns parlent de dix et même de quinze minutes pour le double champignon et de quinze et vingt minutes pour le Vignole. Cela peut arriver lorsqu'il faut casser les boulons d'éclisses rouillés. M. Villot, ingénieur en chef à Marseille, parle de six rails à double champignon et de cinq rails Vignole par journée d'homme employé. Il est évident, en

effet, que la durée dépend essentiellement de la composition des équipes employées au travail.

L'avantage du rail à double champignon est moindre en réalité qu'il ne résulte de l'ensemble de ces renseignements, parce qu'il faut tenir compte du temps nécessaire pour le rassemblement et le transport des équipes, pour le transport à pied d'œuvre des matériaux nécessaires, pour le déblayage du rail.

On voit qu'en ce qui concerne la main-d'œuvre d'entretien, les deux systèmes présentent l'un et l'autre des avantages et des inconvénients. L'avantage final paraît rester au rail Vignole. Ainsi M. Baum, ingénieur des ponts et chaussées, dit qu'en consultant les tableaux du nombre des journées employées à l'entretien de la voie sur les diverses sections de la compagnie de l'Est, il a reconnu que le nombre des journées est plus fort pour le rail à coussinets que pour le rail Vignole et qu'il est minimum pour le rail Vignole en acier de 30 kilog. Il est à regretter que des recherches analogues, avec des chiffres à l'appui, n'aient pas été faites sur d'autres réseaux. Cependant la Staatsbahn déclare que la suppression du coussinet donne au rail à patin une grande supériorité au point de vue des conditions économiques d'entretien.

Mais le fait du temps nécessaire pour le changement d'un rail a une grande importance au point de vue technique; car ce changement doit pouvoir s'effectuer dans l'intervalle de deux trains consécutifs, sous peine d'apporter un trouble dans la circulation. Il y là un avantage très sérieux du rail à coussinet pour les lignes à circulation très active. C'est un des arguments principaux des partisans du double champignon. D'après M. l'inspecteur général Malézieux, cette considération est une de celles qui ont contribué le plus à faire conserver les voies à coussinets sur les lignes anglaises. « Cet avantage, dit M. Malézieux, est capital sur les lignes chargées comme le sont celles de Londres

et de la banlieue. Il a, dit-on, suffi pour déterminer la compagnie du *Metropolitan* à revenir du rail à patin à l'autre (*). »

Cet avantage, pour le dire en passant, a aussi son importance au point de vue militaire. Mais, en dehors de ce point de vue, il est à remarquer que son importance diminue très vite avec celle de la circulation, et que, bien qu'ayant pu être à bon droit trouvé décisif sur une ligne exceptionnelle comme le *Metropolitan*, il n'offre plus qu'un intérêt secondaire sur une ligne à circulation moyenne. Il ne faut pas perdre de vue que les compagnies du Nord et de l'Est, en France, et la presque totalité des lignes allemandes, emploient le rail Vignole, et cela sur des lignes à très grande circulation.

Quand la réparation est motivée par un déraillement, la proportion peut changer et l'avantage revenir à la voie à patin à cause des coussinets brisés.

La question dominante au point de vue économique est celle du renouvellement intégral des voies. La durée des traverses, celle des rails est-elle différente dans les deux types de voie?

Relativement aux traverses, l'enquête n'a pas mis en évidence de faits bien concluants.

Les compagnies de l'Ouest et d'Orléans, les chemins de fer de l'État, estiment que la durée des traverses est moindre dans la voie Vignole par suite de l'écrasement du bois sous le patin et des ressabotages fréquents qui en sont la conséquence. Mais aucune comparaison numérique n'est donnée à l'appui. La compagnie du Nord estime que, si les traverses sont en bois dur, leur durée dépend essentiellement de la qualité du bois, des conditions de la préparation et de la nature du ballast. La compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée exprime l'avis que la durée doit être la même

(*) Malézieux : *les Chemins de fer anglais en* 1873, p. 19.

dans les deux systèmes, et que, lorsque les attaches ne tiennent plus, la traverse est entièrement hors de service. La compagnie de l'Est ne se prononce pas sur la durée relative; elle insiste seulement sur ce point que, soit avec coussinets, soit sans coussinets, le maculage de la traverse tient surtout aux attaches et a été atténué considérablement par l'emploi des tirefonds. Elle a essayé de le supprimer complètement sous les rails à patin par l'emploi de semelles de feutre; l'essai n'a qu'un an de date, mais paraît satisfaisant. Enfin la compagnie du Midi n'a pas d'éléments de comparaison, n'ayant jamais fait usage du rail Vignole; elle déclare qu'on a assez souvent retiré de la voie des traverses encore saines par suite de l'écrasement du bois sous les coussinets. Le nombre des traverses retirées pour ce motif est d'autant plus grand que la surface d'appui du coussinet est plus faible.

Ce dernier fait mérite d'être signalé. Il a déterminé la compagnie du Midi à faire l'essai d'un coussinet de 14 kilogrammes. Nous avons vu que la compagnie de l'Ouest a précédé celle du Midi dans cette voie et que l'Angleterre est allée encore bien plus loin, employant des coussinets de 20 kilog. et au delà. Il est vrai que la compagnie du Midi et les chemins de fer anglais emploient ou exclusivement ou en forte proportion des traverses de bois tendre. Quoi qu'il en soit, cet accroissement continuel des dimensions des coussinets prouve que, malgré l'étendue de la surface d'appui, le bois de la traverse continue à s'écraser sous le coussinet, et ce fait ne tient pas uniquement au jeu des attaches, car la compagnie de l'Ouest emploie des tirefonds pour ses coussinets.

A côté de cela, nous voyons que les compagnies du Nord et de l'Est, qui pourraient atténuer l'écrasement de la traverse sous le patin du rail Vignole, en employant des selles en fer ou en acier, se contentent d'introduire sous le rail des semelles de feutre.

On a signalé depuis longtemps, au point de vue de la manière dont les deux voies se comportent, cette contradiction entre les faits et les prévisions qu'on pouvait former d'après l'étendue de la surface d'appui et la pression par centimètre carré exercée sur la traverse. M. Couche, qui l'a relevée comme un des principaux arguments en faveur du rail à patin, l'explique par ce fait que, dans la voie à coussinets, le rail n'est jamais qu'imparfaitement appuyé sur le fond du logement que lui offre le coussinet. Dès lors, au passage de chaque roue, le rail s'abat violemment sur son support, et il se produit un choc destructif à la fois pour le champignon inférieur du rail, pour la semelle du coussinet, à laquelle on a dû, par ce motif, donner une épaisseur considérable, et pour le bois de la traverse. Si le coussinet lui-même n'est pas bien attaché, ce dernier effet, on le comprend, est encore plus prononcé.

Il semble donc résulter de ce qui précède que, si l'inconvénient signalé par M. Couche a été atténué dans une très large mesure par l'emploi de sabots à large semelle, il n'est pas démontré qu'il ait entièrement disparu, encore moins que l'avantage ait passé du côté de la voie à double champignon.

Il y a une autre cause de destruction des traverses : c'est l'altération générale du bois. Sous ce rapport, il y a une différence entre les deux types de voie ; c'est que, dans la voie à coussinets, le recouvrement de la traverse par le ballast est généralement plus épais. On a discuté beaucoup pour savoir si c'était un avantage ou un inconvénient. D'après les résultats de notre enquête, l'opinion se prononce franchement pour l'utilité du recouvrement, surtout sous les climats chauds (*). La compagnie du Midi rap-

(*) Dans la huitième réunion de l'association des chemins de fer allemands, tenue à Stuttgart en 1878, vingt-sept administrations se sont prononcées dans le sens de l'utilité du recouvrement des traverses par du gravier pur, et sept seulement en sens contraire.

pelle à ce propos un fait intéressant; c'est que, dans la voie Brunel, les longrines se conservaient beaucoup moins longtemps que les traverses qui, placées en dessous pour les relier de distance en distance, étaient ainsi plus profondément enfoncées dans le ballast. Ce fait s'explique par les variations moins brusques de température et d'humidité. Une épaisseur même très faible de ballast suffit pour arrêter complètement l'effet direct des rayons solaires et pour tempérer celui des changements de l'atmosphère.

Il y a donc là une circonstance décidément favorable au coussinet. Malheureusement les faits statistiques qui pourraient permettre d'en apprécier la valeur et de comparer l'économie de renouvellement avec la dépense correspondante de ballast nous font défaut. Tant de circonstances exercent, d'ailleurs, sur la durée des traverses une influence plus considérable que ne peut être celle du type de voie, qu'il serait certainement très difficile de dégager celle-ci. Une statistique très intéressante donnée par la compagnie du Midi dans sa réponse à la question 53 met bien en évidence l'influence de la nature du ballast ainsi que du climat.

Nous sommes donc réduits à déclarer qu'au total la voie établie avec des coussinets à large semelle semble présenter quelque avantage sur la voie à patin au point de vue de la durée des traverses, mais que les données dont nous disposons ne permettent pas d'apprécier l'importance de cet avantage.

Reste enfin la question de la durée des rails.

Au point de vue de l'usure ou de la destruction du rail dans sa position initiale ou après retournement bout pour bout, il n'y a aucune différence entre les deux voies. Toute la question se réduit donc à celle de retournement sens dessus dessous.

Elle a été discutée à satiété, et avec des données et des conclusions très divergentes, en ce qui concerne les rails en fer.

La compagnie d'Orléans et les chemins de fer de l'État déclarent que, d'après des relevés faits sur les voies principales de lignes déjà anciennes, la proportion des rails retournés est de un tiers, et concluent de là que la durée moyenne des rails susceptibles de retournement est une fois et demie celle des rails qui ne comportent pas cette opération. Cette conclusion, toutefois, ne serait exacte qu'autant que tous les rails seraient en état d'être retournés à la fin de la première période de leur existence, ce qui n'est pas. Mais on peut aisément montrer, et c'est là le point important, que sur une voie où la proportion indiquée se maintiendrait, la consommation de rails neufs pour le renouvellement ne serait que les deux tiers de ce qu'elle serait sur une voie à rails non retournables.

C'est assurément là un fait économique très important.

La compagnie de l'Ouest a fourni un relevé des rails retournés ou mis hors de service avant ou après retournement, pendant les vingt années de 1859 à 1878, pour la ligne de Paris au Havre. Cette ligne présentant une longueur totale de voie simple de 442k,200, est établie depuis 1843 entre Colombes-embranchement et Rouen, et depuis 1847 de Rouen au Havre.

Voici le résumé de ce tableau, soit pour les vingt années, soit pour les dix dernières, pendant lesquelles les nombres annuels varient peu.

	NOMBRE DE RAILS TOTAL			NOMBRE DE RAILS par kilomètre et par an		
		MIS HORS DE SERVICE			MIS HORS DE SERVICE	
	retournés.	avant retournement.	après retournement.	retournés.	avant retournement.	après retournement.
De 1859 à 1878. .	70.813	8.696	77.950	8,00	0,98	8,81
De 1869 à 1878. .	34.360	1.893	54.884	7,77	0,43	12,41

Les résultats avaient été bien différents pendant les premières années; ainsi en 1859, il n'y a eu que 135 rails retournés et 54 mis hors de service après retournement, tandis qu'il y en avait eu 1.493 mis hors de service sans retournement. On voit qu'à cette époque, les adversaires du double champignon étaient fondés à regarder le retournement comme illusoire.

Ce résultat changea rapidement dans les années suivantes, soit par une amélioration de la qualité des rails, soit, plus probablement, par suite d'un meilleur entretien et par le perfectionnement des coussinets. Dans les dix dernières années, le nombre des rails mis hors de service sans retournement n'a plus été que de 5,5 p. 100 du nombre des rails retournés.

Le retournement a donc été une opération des plus sérieuses et des plus efficaces, puisqu'il a pu être appliqué aux 19/20 des rails.

Pour en apprécier complètement la portée économique, il faudrait connaître la durée moyenne des rails après retournement. On pourrait la déduire de ce qui précède si l'on avait, en outre, un renseignement analogue à celui qu'a donné la compagnie d'Orléans, c'est-à-dire la proportion de rails retournés constatée sur les voies à un moment donné. Ce renseignement fait défaut et, d'ailleurs, le raisonnement porterait à faux, car la substitution progressive des rails d'acier aux rails de fer modifie constamment la longueur effective occupée par ces derniers. Le seul examen des chiffres ci-dessus suffit pour montrer que la voie n'est pas réellement dans un état qu'on puisse appeler permanent, comme semblerait l'indiquer l'examen sommaire du tableau présenté par la compagnie, car dans un pareil état le nombre des rails mis hors de service après retournement devrait être égal à celui des rails retournés.

Néanmoins ce résultat, rapproché de celui de la compagnie d'Orléans, tend à attribuer une grande impor-

tance au retournement des rails à double champignon en fer.

Mais cette question change totalement d'aspect par l'introduction de l'acier.

Le bénéfice résultant du retournement, en supposant celui-ci possible, est représenté, au moment où l'opération s'effectue, non par la valeur totale du rail retourné, mais par l'excédent de cette valeur sur celle à laquelle les usines le reprendraient pour le transformer en rails neufs. Le jour encore éloigné où cette transformation devra s'opérer sur une grande échelle pour les rails d'acier, il en résultera une modification importante dans les conditions du marché métallurgique. Nous n'essayerons pas d'évaluer quelle pourra être alors la valeur des vieux rails. Toujours est-il que le bénéfice du retournement ne représente qu'une partie de la valeur intrinsèque du rail retourné, mesurée par les services qu'il peut encore rendre. Mais ce que nous avons à prendre en considération, c'est la somme que représente actuellement, au moment de la construction de la voie, cette valeur qui ne sera disponible qu'au bout d'un certain nombre d'années.

Pour des rails placés en des points très fatigués, et dont la durée n'est que de quelques années, parfois de quelques mois, la valeur actuelle peut être encore très notable ; mais c'est là l'exception. Pour l'ensemble des lignes, la durée moyenne paraît devoir être fort longue. Si l'on admet, comme les faits actuellement observés semblent l'indiquer, qu'elle serait, pour les rails en acier, au moins trois ou quatre fois aussi grande que pour les rails en fer, ce qui la porterait, en bien des cas, à quarante ou cinquante ans et même davantage, la valeur actuelle d'une somme acquise à si longue échéance se réduirait à bien peu de chose. On sait, par exemple, qu'une somme placée à intérêt composé au taux de 5 p. 100 se multiplie par 8 en quarante-deux ans; si donc le rail devait être retourné au bout de

quarante-deux ans, et si le bénéfice du retournement était représenté à ce moment par le quart de la valeur d'achat, il n'en représenterait, au moment de la construction, que la trente-deuxième partie, ou environ 3 p. 100.

Mais cette valeur actuelle est encore réduite par la considération des changements probables de l'industrie des chemins de fer. A une époque où les progrès industriels sont si rapides, est-il probable que le rail qu'on pose aujourd'hui soit encore utilisé dans trente ou quarante ans, même en le supposant alors parfaitement sain et bon? L'histoire du passé nous engage à être réservés à cet égard et à ne pas faire grand fonds sur la valeur que pourra posséder à une époque aussi éloignée notre outillage actuel.

D'ailleurs le retournement sera-t-il matériellement possible? Il est possible en général pour le fer, à cause de la manière spéciale dont s'altère le champignon supérieur. Ce n'est pas par usure proprement dite qu'il périt, c'est par dessoudure, laquelle se manifeste par exfoliation, écrasement, fentes longitudinales, etc... Au moment où on le retire de la voie, les parties qui n'ont pas subi directement cette altération ont conservé à peu de chose près leur forme primitive; elles se logent donc à peu près exactement dans la cavité du coussinet, aux parois de laquelle elles adhèrent, sinon tout à fait comme le champignon neuf, au moins d'une manière analogue.

Il en est autrement pour l'acier, ou plus généralement pour le métal fondu.

A part quelques-uns, dont le champignon se désagrège par suite de défauts de fabrication et qui sont ainsi promptement mis hors de service, les rails en métal fondu subissent une usure proprement dite, une ablation progressive du métal par le frottement des roues. On admet qu'on pourra en général conserver le rail jusqu'à ce qu'il ait perdu une couche de 10 millimètres, et, suivant quelques-uns, de 12 à 15 millimètres d'épaisseur. Supposons

qu'à ce moment on retourne le rail, supposons même qu'il n'ait pas subi sous l'action des roues, en même temps que l'usure, un aplatissement, une espèce de laminage qui ne lui permettrait plus de pénétrer dans le coussinet. Toujours est-il qu'il n'épousera plus la forme intérieure du coussinet, et que, même en modifiant convenablement la forme et la hauteur du coin, on n'arrivera pas à faire que le rail soit solidement maintenu.

Ainsi le retournement, qui n'aurait que peu de valeur s'il était possible, sera probablement impossible.

C'est ce qu'admet franchement la compagnie de l'Ouest. Les compagnies d'Orléans et du Midi, les chemins de fer de l'État comptent qu'il y aura encore une importance économique très sérieuse. Il est difficile de se ranger à cette manière de voir.

Le retournement reste possible, bien entendu, et conserve toute sa valeur pour les rails dans lesquels un défaut de continuité détermine des avaries locales. Mais c'est un très petit nombre, et le retournement réduit à ce cas n'est plus qu'un avantage accessoire dont il faut profiter, mais qui ne saurait déterminer le choix d'un type de voie.

L'opinion qui n'admet pas la possibilité habituelle du retournement pour les rails en acier paraît avoir prévalu en Angleterre. Tout en conservant le coussinet, on a, sur beaucoup de lignes, renoncé à la forme symétrique des rails. Le champignon inférieur reçoit quelquefois une forme carrée qui lui donne une meilleure assiette dans le coussinet; d'autres fois on lui conserve une forme arrondie; mais, dans l'un et l'autre cas, on donne au champignon supérieur une hauteur plus grande en vue de l'usure. Les rails du *London Chatham and Dover* et du *Great Northern*, mentionnés dans notre tableau relatif aux résistances, fournissent deux exemples de la seconde disposition.

Si l'on admet l'égalité de résistance à l'extension et à la compression dans l'acier, ce qui paraît être exact, au moins

dans les limites des efforts auxquels les rails sont exposés, il faudrait que le rail, considéré indépendamment de l'usure, eût une forme symétrique; par conséquent, le champignon supérieur devrait être égal au champignon inférieur surmonté d'une couche de métal égale ou un peu inférieure à celle qu'on suppose devoir disparaître par l'usure.

Mais il est naturel de profiter de ce que le bourrelet inférieur n'est pas destiné au roulement pour lui donner la forme la plus favorable à la résistance par extension. On est ainsi ramené, suivant une remarque de la compagnie de l'Ouest, au rail à patin, mais porté par des coussinets.

La comparaison entre les deux voies change alors de termes; elle se réduit à la question de l'utilité que peut offrir l'interposition du coussinet et du coin entre le rail et la traverse. La question ainsi posée se rattache surtout à la troisième partie de notre examen.

En résumé, au point de vue de l'entretien et du renouvellement des voies, et en nous bornant au cas des rails en acier, nous arrivons aux résultats suivants :

La main-d'œuvre d'entretien paraît être moindre dans la voie Vignole.

Mais la voie à coussinets présente l'avantage d'exiger moins de temps pour le remplacement d'un rail, avantage important sur les lignes à grande fréquentation.

La durée des traverses, lorsqu'elles sont en bois dur, est à peu près la même dans les deux cas, avec un certain avantage cependant au profit de la voie à double champignon, au moins avec les coussinets à large semelle.

Au point de vue du renouvellement des rails, la voie à double champignon symétrique présente un petit avantage, en permettant d'utiliser les barres dont l'un des champignon est défectueux. Mais on ne peut pas compter, d'une manière générale, pour les rails en métal fondu, sur le bénéfice du retournement qui a beaucoup d'importance pour

les rails en fer. Si l'on renonce à la symétrie, tout en conservant le coussinet, les deux voies sont exactement dans les mêmes conditions sous le rapport de la durée des rails, mais les autres différences subsistent.

TROISIÈME PARTIE.

FONCTIONNEMENT DES VOIES.

Les résultats donnés par les deux types de voie dans leur fonctionnement se rattachent à deux considérations distinctes : celle de la sécurité, qui est de beaucoup la plus importante, et celle de la douceur du roulement, qui n'intéresse pas seulement l'agrément des voyageurs, mais aussi la conservation du matériel roulant et celle de certaines marchandises.

La question de la sécurité pourrait être abordée par la voie de la statistique, en recherchant tous les déraillements survenus en pleine voie, et en en discutant les circonstances, pour découvrir dans quelle mesure le mode d'établissement de la voie peut en être rendu responsable.

Mais cette méthode très laborieuse serait, en outre, très délicate. Il bien rare, dans un accident de ce genre, qu'on puisse constater une circonstance bien déterminée à laquelle il faille l'attribuer, et, de fait, il n'arrive guère que nos chemins de fer présentent dans la voie ou dans le matériel roulant des défectuosités suffisantes pour que l'une d'elles puisse à elle seule déterminer de tels accidents ; ce n'est jamais que par le concours fortuit de plusieurs circonstances défavorables qu'ils se produisent. Pour ce qui est de la voie, en particulier, l'état d'entretien a une influence tellement grande sur la viabilité qu'elle masquera presque toujours celle du type de voie.

Nous n'essayerons donc pas d'appliquer cette méthode, et nous nous bornerons à rechercher directement, par les faits constatés dans le service et par le raisonnement, quelle peut être l'influence du mode de construction de la voie sur les conditions de sécurité.

Ces conditions sont la rigidité de la voie, sa stabilité, c'est-à-dire la faculté de résister aux actions des véhicules qui tendent à la déplacer en masse, la solidité, qui maintient toujours une solidarité convenable entre les diverses parties, enfin la conservation exacte de l'écartement des rails, de leur dévers et du surhaussement dans les courbes, ou, plus généralement, de la situation des traverses par rapport à l'horizon.

En ce qui concerne la solidité et la cohésion de la voie, nous n'avons qu'à rappeler ce qui a été dit à propos de l'entretien. Il n'y a pas de différence entre les deux types de voie quant à la disposition de l'éclissage, et si la différence que nous relevons plus loin dans les dimensions des éclisses n'est pas sans importance au point de vue de la rigidité, elle ne semble pas de nature à influer sur la cohésion du joint et sa tendance plus ou moins grande à se desserrer.

Quant à l'adhérence exacte sur les traverses, nous avons signalé l'inconvénient qui résulte, pour la voie à double champignon, de l'interposition du coin ; celui-ci change de volume sous les influences atmosphériques; il pourrit, quelquefois il tombe tout à fait ; s'il n'est pas resserré ou renouvelé à propos, le moindre inconvénient qui puisse en résulter est un *claquement* du rail dans le coussinet. On sait qu'à l'origine, c'était là le défaut capital des voies à double champignon. Les ruptures de coussinets, l'altération du champignon inférieur, le maculage de la traverse en étaient la manifestation. On y remédie par un entretien soigné. Néanmoins le coin reste toujours le point faible de ce type de voie.

La rigidité peut être considérée sous le rapport des mou-

vements verticaux et sous le rapport des mouvements horizontaux. Au point de vue des efforts verticaux, nous avons vu que le rail à patin présente, à poids égal, un certain avantage; le moment d'inertie de la section est plus grand. Mais cet avantage est beaucoup plus grand au point de vue des flexions horizontales, grâce à la largeur du patin. Le rail à patin, à poids égal, résiste donc mieux à la flexion dans tous les sens.

Un point où la rigidité présente un intérêt particulier, c'est le joint des rails, c'est l'éclissage. Si les conditions sont les mêmes dans les deux voies au point de vue de ce que nous avons appelé la solidité, c'est-à-dire, ici, la façulté de résister au desserrage, il n'en est pas tout à fait de même pour la rigidité et la résistance à la rupture. La forme plate du patin permet en effet d'insérer dans le rail Vignole une éclisse plus haute que dans le rail à double champignon. La différence n'est pas sans importance, ainsi qu'il résulte du tableau suivant dressé d'après les mesures relevées sur les dessins (il faut remarquer que les dessins fournis par la compagnie d'Orléans étant à petite échelle, la mesure n'a pu être très exacte).

RAILS Vignole.	HAUTEUR au contact.		MOYENNE.	RAILS à double champignon.	HAUTEUR au contact.		MOYENNE.
	intérieur.	extérieur.			intérieur.	extérieur.	
	millim.	millim.	millim.		millim.	millim.	millim.
Est	67	78	72,5				
Ouest	71	82	76,5	Orléans	53	83	68
Orléans	67,5	85	76				
P. L. M., mod. P M.	70	85,5	77,7	Midi	64	75	69,5
P. L. M., mod. P L M. — A.	72	86	79	État	62	82	72
État	72	86	79				

Quant à la stabilité, la seule différence résulte de l'épaisseur du ballast sur les traverses, épaisseur généralement plus grande dans la voie à coussinets.

Au point de vue des ébranlements verticaux qui peuvent être communiqués à la voie, cette circonstance ne peut pas avoir une grande influence, car le ballast n'intervient alors que par sa masse, et la masse du ballast qui recouvre les traverses est bien peu de chose. Le raisonnement que nous avons présenté ci-dessus à propos des rails s'applique ici à plus forte raison.

Mais il en est tout autrement en ce qui concerne les ébranlements horizontaux, et notamment les ébranlements transversaux qui déterminent le ripage des voies. On sait que cette tendance au ripage devient très énergique avec les lourdes machines à grande vitesse qui sont aujourd'hui en usage. Elle se manifeste surtout d'une manière prononcée dans le cas de double traction.

Or la voie n'est maintenue en place dans le sens transversal que par le frottement des traverses sur le ballast, par la buttée des traverses contre le ballast à leur extrémité, et par la buttée du rail lui-même contre le ballast lorsqu'il en est garni extérieurement. Bien que le frottement de la traverse sur le ballast joue ici le rôle prépondérant, la buttée intervient aussi dans cette résistance pour une part qui n'est pas à négliger, car on lutte efficacement contre le ripage en munissant la traverse d'ailettes saillantes qui n'ont d'autre effet que d'augmenter la buttée dans une proportion souvent assez limitée.

Mais cette buttée est proportionnelle au carré de la hauteur du ballast au-dessus de la traverse. Par conséquent, si une traverse a 14 centimètres d'épaisseur et qu'on la recouvre respectivement de 5, de 10 et de 15 centimètres de ballast, on obtiendra pour la buttée les résultats suivants :

ÉPAISSEUR DU BALLAST sur le bout de la traverse.	HAUTEUR de buttée.	CARRÉ de la hauteur.	VALEUR proportionnelle. de la buttée.
	mètres		
5 centimètres.......	0,19	0,0361	1,00
10 centimètres.......	0,24	0,0576	1,60
15 centimètres.......	0,29	0,0841	2,34

Il résulte des règles adoptées dans les diverses compagnies pour le réglage du ballast que l'épaisseur de celui-ci sur l'extrémité extérieure de la traverse varie depuis 0m,05 (compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, Vignole) et 0m,07 (compagnie de l'Ouest, Vignole) jusqu'à 0m,14 (État, double champignon) et 0m15 (Midi, double champignon). Du côté de l'entrevoie, l'épaisseur réglementaire, en général plus forte qu'en dehors, est cependant moindre à la compagnie de l'Est, où elle se réduit à 0m,04 pour la voie Vignole, tandis que dans les voies à double champignon de l'État et de l'Ouest, elle atteint 0m,195 et 0m,180.

Nous avons dit qu'en général dans les voies à double champignon, l'épaisseur du ballast est de 5 centimètres plus grande que dans les voies Vignole. Il résulte de ce qui précède qu'il y a là un élément de stabilité qui n'est peut-être pas sans importance.

Sous le rapport du maintien de la situation des traverses par rapport à l'horizon et en particulier du surhaussement dans les courbes, nous n'avons aucune différence à signaler entre les deux voies.

Un point, au contraire, sur lequel il y a une différence souvent invoquée, c'est celui du dévers du rail. En premier lieu, l'emploi des coussinets facilite la pose exacte du rail avec le dévers voulu. Ce dévers, en effet, est assuré par la construction même du coussinet, dont la semelle se pose simplement à plat sur une entaille parallèle à la face inférieure de la traverse. Cette entaille est donc facile à faire et, à cause de la longueur de la semelle, un petit défaut dans

la façon de l'entaille n'a pas grande conséquence. Le sabot est d'ailleurs mis en place à l'atelier même, où le sabotage peut être vérifié avec grand soin.

Avec le rail à patin, l'entaille, qui n'a que la largeur de celui-ci, doit recevoir très exactement une inclinaison égale au dévers, un vingtième en général. On comprend qu'il est difficile d'y parvenir avec une entière précision, surtout lorsque le travail est fait à la main et sur place. Le travail à la machine, adopté aujourd'hui par les compagnies de l'Est, du Nord et de l'Ouest, comporte beaucoup plus de précision et semble constituer un réel progrès. Néanmoins il n'assure pas encore d'une manière absolue l'exactitude du dévers, qui dépend du serrage des tirefonds.

Mais il faut ensuite que le dévers se maintienne dans le service. Si nous supposons que le champignon de roulement soit soumis à un effort horizontal tendant à renverser le rail en dehors de la voie, il faudra que le moment de renversement soit équilibré par le couple que forment, d'une part, la résistance des attaches intérieures qui tendent à être arrachées, d'autre part, la réaction de la traverse sur l'autre bord de la surface d'appui.

Avec le rail à patin, le moment de renversement a pour bras de levier la hauteur du rail, le couple de stabilité a pour bras de levier la largeur du patin, soit environ 10 centimètres, au plus 13 centimètres, dans le rail PM de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. Avec le double champignon, le moment de renversement est plus grand, car son bras de levier est augmenté de l'épaisseur de la semelle du coussinet, environ un tiers de sa valeur; mais le couple de stabilité a pour bras de levier la distance des attaches du coussinet, qui est de 20 à 27 centimètres, ou plutôt la distance des attaches intérieures au bord extérieur du coussinet. Admettons seulement 20 centimètres. On voit que les forces qui constituent ce couple et qui tendent, d'un côté, à arracher les attaches, de l'autre, à écraser le bois,

sont multipliés par [illegible] avec le coussinet de 27 centimètres, [illegible] soit $\frac{1}{2}$.

L'effort qui tend à soulever les attaches intérieures est donc sensiblement [illegible] dans la voie à coussinets, qui présente de ce chef un avantage incontestable. Il ne faut pas l'exagérer cependant, puisqu'il suffit comme compensation de multiplier par [illegible], c'est-à-dire d'augmenter de [illegible], en tout cas, de doubler la résistance des attaches à l'arrachement. C'est dans ce but que la compagnie [illegible] a remplacé ses tirefonds de 19 millimètres par [illegible] 23 millimètres, dont la résistance à l'arrachement, [illegible], est supérieure au moins de moitié. La compagnie [illegible] a adopté le même modèle.

En outre, ce n'est pas une manière exacte d'envisager la question que d'isoler, comme nous venons de le faire, la réaction horizontale des bandages de leur réaction verticale qui provient principalement de la pesanteur. Si la [illegible] le rail vers l'extérieur, la se[illegible] sens inverse, et s'oppose à ce [illegible] la première est plus grand [illegible] égal à la moitié [illegible] revanche, la se[illegible] la première. [illegible] résultante de [illegible] Si les mo[illegible] réaction [illegible] moment [illegible] résul[illegible] dans le [illegible] et, [illegible] dans le

l'un ou de l'autre des bords de la base d'appui, la pression par centimètre carré sera plus grande de ce côté, et si elle dépasse une certaine valeur, il pourra y avoir un écrasement partiel du bois.

Il ne paraît pas que, dans les voies à coussinets, on observe en général une différence à cet égard entre les deux côtés du rail; quand le bois s'écrase, il s'écrase uniformément par suite du claquement. Cela tient à ce que la résultante passe toujours assez loin de l'un et de l'autre des bords. Cependant la compagnie du Midi signale une certaine tendance au renversement dans les courbes, tendance manifestée par le soulèvement des chevillettes à l'intérieur et la pénétration des coussinets dans les traverses à l'extérieur.

Il n'en est pas tout à fait de même dans les voies à patin.

Dans les alignements droits, la composante horizontale est nulle ou faible. Par suite même du dévers, la composante verticale tombe dans la moitié intérieure de la base. C'est donc vers le bord intérieur du patin que la pression est la plus forte. L'expérience montre, en effet, que les voies auraient une certaine tendance à se resserrer, ce qui ne peut avoir lieu que par un léger écrasement du bois sous le bord intérieur du patin.

Dans les courbes, la réaction horizontale devient plus considérable. Cependant il faut des courbes très fortes pour produire l'effet inverse de celui que nous venons de signaler. La compagnie de l'Est dit n'avoir constaté une tendance au renversement que dans les courbes de 300 mètres de rayon de l'embranchement de Villerupt, où circulent les plus lourdes machines. Elle y a obvié en doublant les tirefonds intérieurs du côté du grand rayon. A la Staatsbahn, on déclare n'avoir observé sur aucun point du réseau cette tendance au renversement.

Les selles employées par la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée dans la voie du type PLM-A, et sur beaucoup

sont multipliées par $\frac{4}{3} \times \frac{10}{20} = \frac{2}{3}$. Avec le coussinet de 27 centimètres, ce rapport devient $\frac{4}{3} \times \frac{10}{27}$, soit $\frac{1}{2}$.

L'effort qui tend à soulever les attaches intérieures est donc sensiblement moindre dans la voie à coussinets, qui présente de ce chef un avantage incontestable. Il ne faut pas l'exagérer cependant, puisqu'il suffit comme compensation de multiplier par 3/2, c'est-à-dire d'augmenter de moitié ou, en tout cas, de doubler la résistance des attaches à l'arrachement. C'est dans ce but que la compagnie du Nord a remplacé ses tirefonds de 19 millimètres par ceux de 23 millimètres, dont la résistance à l'arrachement, dit-elle, est supérieure au moins de moitié. La compagnie de l'Est a adopté le même modèle.

En outre, ce n'est pas une manière exacte d'envisager la question que d'isoler, comme nous venons de le faire, la réaction horizontale des bandages de leur réaction verticale, qui provient principalement de la pesanteur. Si la première tend à renverser le rail vers l'extérieur, la seconde donne un moment en sens inverse, et s'oppose à ce mouvement; le bras de levier de la première est plus grand que celui de la seconde, qui est à peu près égal à la moitié de la largeur de la base d'appui, mais en revanche, la seconde force surpasse en général de beaucoup la première. Ce qu'il faut réellement considérer, c'est la résultante de ces deux forces, la réaction totale du bandage. Si les moments des deux composantes étaient égaux, cette réaction passerait par l'arête même du rail. En général, le moment de la force verticale l'emporte de beaucoup, et la résultante, se rapprochant de cette composante, passe dans le polygone d'appui du rail.

Lorsqu'il en est ainsi, il ne peut pas être question d'un renversement proprement dit et d'un arrachement des attaches. Mais, suivant que la résultante passe plus près de

l'un ou de l'autre des bords de la base d'appui, la pression par centimètre carré sera plus grande de ce côté, et si elle dépasse une certaine valeur, il pourra y avoir un écrasement partiel du bois.

Il ne paraît pas que, dans les voies à coussinets, on observe en général une différence à cet égard entre les deux côtés du rail; quand le bois s'écrase, il s'écrase uniformément par suite du claquement. Cela tient à ce que la résultante passe toujours assez loin de l'un et de l'autre des bords. Cependant la compagnie du Midi signale une certaine tendance au renversement dans les courbes, tendance manifestée par le soulèvement des chevillettes à l'intérieur et la pénétration des coussinets dans les traverses à l'extérieur.

Il n'en est pas tout à fait de même dans les voies à patin. Dans les alignements droits, la composante horizontale est nulle ou faible. Par suite même du dévers, la composante verticale tombe dans la moitié intérieure de la base. C'est donc vers le bord intérieur du patin que la pression est la plus forte. L'expérience montre, en effet, que les voies auraient une certaine tendance à se resserrer, ce qui ne peut avoir lieu que par un léger écrasement du bois sous le bord intérieur du patin.

Dans les courbes, la réaction horizontale devient plus considérable. Cependant il faut des courbes très fortes pour produire l'effet inverse de celui que nous venons de signaler. La compagnie de l'Est dit n'avoir constaté une tendance au renversement que dans les courbes de 300 mètres de rayon de l'embranchement de Villerupt, où circulent les plus lourdes machines. Elle y a obvié en doublant les tirefonds intérieurs du côté du grand rayon. A la Staatsbahn, on déclare n'avoir observé sur aucun point du réseau cette tendance au renversement.

Les selles employées par la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée dans la voie du type PLM-A, et sur beaucoup

d'autres lignes, placent la voie à patin dans des conditions égales à celle de la voie à coussinets sous le rapport de la pression exercée sur la traverse, et s'opposent à l'écrasement du bois. Elles n'obvient pas à l'inconvénient résultant du moindre écartement des attaches, et ne dispensent pas de renforcer celles-ci au point de vue de la résistance à l'arrachement.

Mais l'action horizontale des bandages ne tend pas seulement à renverser le rail en le faisant tourner; elle tend aussi à le faire glisser transversalement et à élargir la voie. A ce point de vue, et plus encore peut-être que sous le rapport du renversement, la voie à coussinets présente un avantage sur la voie Vignole. La voie conserve mieux sa largeur; cela tient à ce que les deux attaches sont solidaires par l'intermédiaire de la semelle, tandis que, dans la voie Vignole, l'attache extérieure s'oppose seule au déplacement latéral au patin. Cette tendance à l'élargissement dans les courbes est signalée généralement comme le principal défaut de la voie à patin. La compagnie du Nord dit l'avoir combattue suffisamment par l'emploi de son nouveau tirefond. La compagnie de l'Est double les tirefonds extérieurs du côté du grand rayon sur un certain nombre de traverses, croissant en raison inverse du rayon de la courbe; elle vient aussi de se décider à employer le tirefond de 25 millimètres de la compagnie du Nord. La compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, sur ses grandes lignes, fait intervenir les attaches intérieures pour combattre l'élargissement, et les loge dans le patin même du rail, percé à cet effet; mais ce patin a 13 centimètres de largeur. Sur les lignes secondaires construites avec le rail PLM-A, de 33 kilog., elles emploie des selles qui établissent la solidarité exactement comme le coussinet (*). C'est aussi le moyen employé à la Staatsbahn.

(*) Dans la discussion du rapport au Comité de l'exploitation

Du reste, cette tendance à l'élargissement n'est pas sans se manifester dans les voies à coussinets elles-mêmes, car la compagnie de l'Ouest a reconnu l'opportunité d'employer, pour le grand rayon des courbes, sur les lignes à grande circulation, un coussinet à trois nervures qui est fixé par un tirefond à l'intérieur et deux à l'extérieur.

Nous avons, dans cette discussion, supposé une solidarité parfaite entre le rail et le coussinet. On peut l'admettre quand les voies sont bien entretenues. Il en serait autrement avec des coins pourris ou mal serrés. Encore faudrait-il, pour rendre possible un déplacement notable du rail dans le coussinet, que plusieurs coins fussent dans le même état. Le coin n'a à résister qu'aux efforts horizontaux, et ces efforts agissent sur lui directement ; le bois qui le forme est donc moins exposé à l'écrasement que celui qui porte le patin du rail Vignole.

On voit qu'en définitive, aux divers points de vue qui viennent d'être examinés, nous ne trouvons que deux différences qui méritent d'être relevées : rigidité un peu plus grande de la voie Vignole, notamment à l'éclissage; tendance plus grande de cette même voie à s'élargir dans les courbes. Ce dernier effet constituerait la voie Vignole en état d'infériorité notable sous le rapport de la sécurité si l'on n'avait pas pour le combattre les moyens que nous avons indiqués; l'emploi des selles, notamment, la place entièrement dans les mêmes conditions que la voie à coussinets.

Ajoutons encore une certaine supériorité de la voie à

---

technique des chemins de fer, M. Marié a fait remarquer que l'avantage du coussinet ne vient pas seulement de la solidarité des attaches, mais aussi et surtout de ce qu'étant encastrées dans la semelle du coussinet, celles-ci ne peuvent pas s'incliner et élargir leur trou comme lorsqu'elles sont libres. Pour obtenir le même effet avec des selles, il faudrait leur donner une épaisseur analogue à celle de la semelle du coussinet.

double champignon sous le rapport de la stabilité, lorsqu'on profite de la faculté de placer une épaisseur plus grande de ballast sur les traverses.

Ce sont les circonstances que nous venons d'analyser en dernier lieu, c'est-à-dire une certaine tendance à l'écrasement du bois sous le bord extérieur du patin, et surtout la tendance à l'élargissement par le refoulement des attaches extérieures, qui prendraient beaucoup de gravité avec des traverses en bois tendre. La voie Vignole convient donc tout spécialement au cas où l'on dispose de traverses en bois dur. Cependant les traverses en bois tendre n'en sont pas complètement exclues. Ainsi la compagnie de l'Est emploie quelquefois des traverses en sapin sous ses voies Vignole, et cela même sans selles; mais elle les réserve tout naturellement pour les alignements droits, sur les voies les moins fatiguées.

Les traverses de bois tendre paraissent être employées en assez grande quantité en Allemagne, où cependant la voie Vignole est à peu près seule en usage.

Le rail à patin a offert pendant longtemps un certain avantage par la facilité qu'on avait de l'empêcher de cheminer sous l'action des trains, effet qui se produit, on le sait, sur les lignes à double voie, et même en beaucoup de points des lignes à voie unique. Il suffisait de pratiquer sur le bord du patin des encoches dans lesquels entrait le corps du crampon. On a renoncé aux encoches pour les rails en acier; elles formaient des points faibles d'où partaient souvent des lignes de rupture. Lorsqu'on a le joint sur traverse, on peut encore agir sur le patin par son extrémité, en le faisant butter contre un coin d'arrêt enfoncé dans la traverse de joint; c'est ce que fait la compagnie du Nord. Avec le joint suspendu, les deux types de voie se trouvent dans des conditions identiques. Du reste, la question de l'entraînement des voies a perdu la plus grande partie de son importance par l'emploi de l'éclissage, qui

a supprimé la plus grande cause d'entraînement. La compagnie d'Orléans n'emploie même aucun moyen de le combattre. Il n'y a donc pas là de motifs qui puissent déterminer la préférence en faveur de l'un ou de l'autre type.

Il nous reste peu de chose à dire sur la question de la douceur du roulement. Ici il n'y a guère moyen de saisir des faits positifs; c'est une affaire d'appréciation, et, outre qu'elle est assez délicate, tant de causes indépendantes du type de voie interviennent dans le résultat qu'il est presque impossible d'arriver à une conclusion certaine. Chacun se laisse plus ou moins guider dans son appréciation par des vues théoriques.

Ainsi beaucoup d'ingénieurs pensent que l'interposition des coins, corps doués d'une certaine élasticité, entre le rail et la traverse est favorable à la douceur du roulement, de même qu'elle s'oppose à la dislocation de la voie par l'ébranlement dû aux véhicules.

D'autres pensent que les coins, par leur serrage variable et inégal, ne font que rendre moins parfaite et moins régulière la liaison des rails avec les traverses et, par suite, occasionner des secousses.

Le rôle bienfaisant attribué aux coins semble extrêmement douteux; ce n'est pas lorsqu'elle cède sous le choc que la voie est douce: ce rôle est celui des ressorts de suspension; c'est au contraire par la plus grande rigidité possible. Par conséquent, au point de vue de la douceur du roulement, comme nous l'avons déjà vu pour la sécurité, le coin n'est pas un avantage pour la voie à double champignon, mais bien un inconvénient; l'emploi jusqu'à présent inévitable de cet organe fait que, si cette voie est très bonne lorsqu'elle est bien entretenue, elle peut facilement dégénérer par un entretien insuffisant.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Si, dans la discussion qui précède, nous relevons les points sur lesquels nous trouvons des différences notables entre les deux types de voie, nous obtenons la comparaison suivante.

Sous le rapport des frais d'établissement, la voie à patin présente une économie incontestable par le fait de la suppression des coussinets, économie que ne fait pas disparaître, lorsqu'on y a recours, l'emploi des selles en métal sous le patin. La forme plus rationnelle du profil permet également une certaine économie dans le poids du rail, toutes choses égales d'ailleurs, par comparaison avec le rail à double champignon symétrique; mais ce dernier avantage pourrait disparaître si, abandonnant le retournement, tout en conservant le coussinet comme moyen d'attache, on donnait au bourrelet inférieur la forme la plus rationnelle au point de vue de la résistance.

L'emploi du coussinet, surtout s'il est à large base, présente d'ailleurs un notable avantage lorsqu'on est conduit à faire usage de traverses en bois tendre.

Le rail Vignole semble établir une certaine économie dans la main-d'œuvre d'entretien; mais le rail à coussinet présente un avantage important sur les lignes à grande fréquentation, par le temps moins long qu'exige le remplacement d'un rail.

Au point de vue de la dépense de renouvellement, l'emploi du coussinet conduit peut-être, lorsque le coussinet est à large semelle et qu'on profite de la faculté de surélever la surface du ballast, à une certaine économie de traverses, la durée de celles-ci étant augmentée, sans toutefois qu'il soit possible d'évaluer en chiffres cet avantage.

Mais l'introduction aujourd'hui générale de l'acier semble réduire à très peu de chose l'avantage du retournement et indiquer d'une manière très nette, même lorsqu'on emploie des coussinets comme supports, l'emploi d'un profil non symétrique.

En ce qui concerne la sécurité et la douceur du roulement, la voie Vignole présente l'avantage d'une rigidité un peu plus grande à poids égal de rail, et celui d'éviter l'emploi du coin en bois, qui impose, pour la voie à double champignon, une surveillance plus assidue. Par contre, celle-ci résiste mieux au ripage latéral, par suite du recouvrement plus complet des traverses, et surtout elle conserve mieux sa largeur dans les courbes; toutefois on peut obtenir, avec la voie à patins, un résultat analogue, sous ce dernier rapport, par l'augmentation du nombre et du diamètre des tirefonds et par l'emploide selles en métal.

Ces considérations en sens contraire ne permettent pas de formuler une conclusion absolue en faveur de l'un ou de l'autre des deux types de voie. Elles font d'ailleurs que les conditions de détail adoptées dans l'établissement de chacun d'eux et leur plus ou moins bon entretien influent plus sur les résultats obtenus dans le service que les particularités essentielles à chaque type.

En conséquence, la commission croit devoir proposer au comité de l'exploitation technique des chemins de fer d'émettre l'avis :

1° Qu'il n'existe pas actuellement de motif absolu de donner la préférence soit au rail à double champignon, ou, pour mieux dire, au rail à coussinets, soit au rail à patin; que les deux types de voie peuvent donner des résultats très satisfaisants dans tous les cas, à la condition d'employer des rails d'un poids convenable, des traverses bien égales et suffisamment rapprochées, un ballast de

bonne qualité, et à la condition de les tenir en bon état d'entretien;

2° Que l'emploi des coussinets, n'ayant plus pour objet de prolonger le service des rails au moyen de retournement, opération qui n'a plus d'importance économique sérieuse avec les rails en acier, on ne doit pas, lorsqu'on a recours à ce mode d'attache des rails sur la traverse, s'assujettir à donner à ceux-ci un profil symétrique, mais s'attacher uniquement à donner au bourrelet inférieur la forme la plus convenable au point de vue de la résistance du rail et de sa bonne assiette dans le coussinet, en même temps qu'on renforcera le champignon supérieur en vue de l'usure qu'il doit subir;

3° Que, relativement au choix à faire pour les lignes à construire par l'État, les avantages qu'on pourrait espérer d'obtenir par l'adoption d'un type nouveau et spécial de rail ne seraient pas en rapport avec les inconvénients de la complication qui en résulterait dans le service des compagnies appelées vraisemblablement à exploiter ces chemins; qu'il sera donc sage d'appliquer en général, suivant la disposition de la loi du 29 juillet 1880, les types adoptés pour les lignes principales dont les chemins à construire sont les affluents; que, si ces types paraissent entraîner une dépense trop considérable pour des lignes secondaires, plutôt que d'en créer de nouveaux, il serait préférable d'emprunter à d'autres compagnies françaises des types plus économiques.

APPENDICE.

CONDITIONS ACTUELLES D'ÉTABLISSEMENT
DES DEUX TYPES DE VOIE.

L'objet de cet appendice est de résumer, d'après l'enquête à laquelle la commission s'est livrée, les principaux résultats de l'expérience acquise relativement aux meilleures conditions d'établissement des deux types de voie.

1° *Rails.* — L'acier a prévalu partout d'une manière définitive.

Il y a encore quelque incertitude relativement au degré de dureté le plus convenable. Les conditions d'essai rapportées plus haut font connaître les exigences des compagnies sous ce rapport.

Au point de vue de la durée, les rails durs sont évidemment préférables. La compagnie du Midi fait en outre remarquer qu'avec les aciers durs, les lingots présentent moins de soufflures, et, par conséquent, les rails, moins de solutions de continuité. En revanche, avec les rails plus doux, on a moins de chances de rupture, et la compagnie du Nord estime qu'on ne peut avoir des rails durs et en même temps exempts d'aigreur qu'à des prix trop élevés. Ces deux compagnies représentent à peu près les deux limites extrêmes, et elles résument ainsi les résultats donnés par les aciers qu'elles emploient :

	CHARGES de rupture par millimètre carré.	ALLONGEMENT de rupture sur une barrette de 100 millim.
Nord	60 à 74 kilog.	entre 20 et 10 p. 100
Midi	79 à 83 —	entre 11 et 4 —

Le choix à faire entre ces limites dépend de tant de considérations, et peut notamment varier si vite suivant les progrès de la métallurgie, que nous ne croyons pas devoir prendre un parti à cet égard. Ajoutons cependant que les compagnies semblent en général incliner vers l'acier dur.

Nous avons peu de chose à dire sur la question du poids, après la discussion qui a été faite de ce point dans la deuxième partie. Le poids de 30 kilogrammes, très convenable et peut-être même encore susceptible de réduction, sur les lignes secondaires, semble un peu faible sur les lignes à grande circulation et à lourds trains de marchandises. Un poids de 38 à 39 kilogrammes semble satisfaire à toutes les exigences, surtout avec la forme Vignole ; cependant les Anglais vont jusqu'à 41 et 42 kilogrammes pour leurs rails à double champignon, symétrique ou dissymétrique.

Nous avons discuté la question du profil symétrique ou dissymétrique.

Les dimensions générales de la section sont les suivantes :

Rails Vignole : largeur du champignon, de 56 à 60 millimètres; largeur du patin, de 97 à 100, et 130 dans le type P M; hauteur totale, 120 à 130; épaisseur de l'âme, 12 millimètres dans trois types (Nord, Ouest, P L M-A), 13 millimètres et 14 millimètres dans les deux autres, réduite même à 10 millimètres dans le rail des Dombes.

Rails à double champignon : largeur du champignon, de 60 à 62 millimètres; hauteur du rail, de 130 à 134; épaisseur de l'âme, 16 et 18 millimètres.

La surface de roulement présente, dans le Vignole du Nord, adopté par l'Ouest, une zone médiane plane de 22 millimètres de largeur, puis elle se déprime rapidement. Dans tous les autres rails, cette surface a pour profil un cercle tracé avec un rayon voisin de 200 millimètres, sauf dans le

rail d'Orléans, où le rayon est seulement de 90 millimètres.

Les surfaces d'appui des éclisses ont la même inclinaison en haut et en bas. Dans tous les Vignole, cette inclinaison, qui est en même temps l'angle de soutien du champignon, est de 2 de base pour 1 de hauteur, soit 0,5. Dans le double champignon du Midi, elle est un peu plus forte, 6/11; dans celui de l'Ouest et surtout dans celui d'Orléans, elle est beaucoup plus forte. Dans ce dernier, elle atteint 1,141.

Plus cette inclinaison est faible, plus l'éclissage est efficace avec une tension donnée des boulons, plus aussi on se rapproche de la forme théorique du fer à double T, et, par conséquent, mieux on utilise le métal. Il y a donc intérêt à abaisser cette inclinaison jusqu'à la limite où le bord du champignon cesserait d'être convenablement soutenu. L'expérience montre que l'inclinaison de 1/2 n'est pas trop faible, au moins pour l'acier, et l'on ne voit pas de raison pour qu'elle ne soit pas adoptée avec la forme à double champignon. Lorsqu'on voit cependant que tous les profils à double champignon présentent une inclinaison plus forte, on est porté à croire qu'il y a à cela quelque motif particulier, tel que la bonne adaptation du coin. L'exemple du Midi, qui se rapproche beaucoup de l'inclinaison de 1/2, semble prouver le contraire. En discutant ce point, comme celui de l'épaisseur de l'âme, il ne faut pas perdre de vue que les profils Vignole sont des profils récents, dans lesquels on s'est attaché soigneusement à faire le meilleur emploi possible du métal, tandis que les trois compagnies qui emploient le double champignon ont, dans un but d'uniformité, conservé leurs anciens profils pour rails en fer.

La longueur des barres est un point important. Au point de vue du bon fonctionnement de la voie, il y a tout intérêt à prendre cette longueur aussi grande que possible, puisqu'on réduit par là le nombre des joints, lesquels sont sans

contredit les points faibles de la voie. Pour les rails de faible poids, la longueur normale de 8 mètres est adoptée sans contestation. Non seulement la voie est par là rendue meilleure, mais on fait une économie sur les pièces d'éclissage, dont le nombre est réduit en raison inverse de la longueur des barres, et l'on obtient une meilleure répartition des traverses, et même une petite économie dans leur nombre, celui des travées de joint et de contre-joint, moins longues que les autres, se trouvant diminué.

Mais avec des rails pesant 38 kilogrammes ou plus par mètre, les barres de 8 mètres sont trop lourdes pour pouvoir être maniées par les équipes ordinaires, et l'on est obligé de modifier la composition de celles-ci. La compagnie de l'Ouest n'a pas reculé devant cette difficulté, et ne paraît pas s'en trouver mal. Mais les compagnies de Paris-Lyon-Méditerranée, d'Orléans et du Midi ont préféré s'en tenir aux barres de $5^m,50$ pour ces deux dernières, de 6 mètres pour la première, qui a au contraire adopté les barres de 8 mètres pour son rail P L M-A de 33 kilogrammes. En Angleterre, on paraît avoir conservé des longueurs de barres de 6 à 7 mètres. La compagnie du Midi s'est cependant réservé dans ses adjudications la faculté de faire fabriquer une certaine quantité de barres de longueur double, c'est-à-dire de 11 mètres. Nous ne savons pas dans quelle mesure et avec quels résultats ces barres ont pu être essayées. Elles présentent sans contredit au plus haut degré l'inconvénient que nous venons de signaler sous le rapport de la manutention, sans parler des difficultés de fabrication et même de transport; mais il n'est pas douteux que la voie n'en soit sensiblement améliorée. Nous n'avons pas les éléments nécessaires pour faire la balance des avantages et des inconvénients.

2° *Attache des rails sur les traverses.* — Pour les rails à double champignon, nous n'avons pas à revenir sur la

question des coussinets, de leurs dimensions et de leur poids. Pour les fixer sur les traverses, la compagnie d'Orléans emploie des chevillettes rondes de 18 millimètres de diamètre, celle du Midi des chevillettes octogones de 20 millimètres de diagonale; l'Ouest a adopté depuis longtemps des tirefonds vissés qui exigent peut-être un peu plus de temps pour la pose et la dépose, mais qui assurent mieux l'exacte adhérence au rail.

Pour les rails à patin, les tirefonds semblent décidément préférés aux crampons. Au type de 19 millimètres de diamètre, les compagnies du Nord et de l'Est substituent, comme on l'a vu, celui de 23 millimètres. Pour éviter que les poseurs les enfoncent à coups de marteau, on a soin de faire venir sur la tête une pointe ou une lettre que le marteau écraserait. La compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a conservé pour sa voie à large patin des crampons octogones de 19 millimètres employés à l'extérieur, et des chevillettes octogones de 19 millimètres, ces dernières passant dans des trous percés dans le patin, du côté de l'intérieur de la voie.

La compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée est la seule de nos grandes compagnies qui emploie des selles sous le patin. Les autres, on l'a vu, se contentent d'interposer une semelle de feutre entre le rail et la traverse. Les selles paraissent, au contraire, assez en faveur à l'étranger; la Staatsbahn notamment en fait usage. La réunion des ingénieurs allemands à Stuttgard, en 1878, en recommande l'emploi.

Souvent ces selles présentent deux nervures entre lesquelles le patin du rail s'enchâsse comme dans un coussinet sans profondeur. C'est avec raison, semble-t-il, que la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a supprimé en dernier lieu ces appendices sans utilité, pour réduire la selle à une plaque d'acier de 10 millimètres d'épaisseur, percée de deux trous pour le passage des tirefonds.

Plusieurs compagnies ont essayé des semelles de feutre sous les coussinets de la voie à double champignon. Ces essais ne paraissent pas encore avoir donné de résultats décisifs.

3° *Joints.* — Le joint en porte-à-faux ou joint suspendu est préféré. Il donne un roulement plus doux et évite l'altération que les bouts des rails subissent nécessairement dans le joint appuyé lorsqu'ils ne sont pas exactement de la même hauteur, ou lorsque les deux moitiés de la traverse ne résistent pas également à la pression.

Le calcul prouve que si l'on considère le rail comme encastré horizontalement à ses points d'appui sur les traverses, c'est à ces points d'appui que se produit la fatigue maximum du métal; mais elle ne surpasse que de 1/7 celle qui se produit au milieu de la travée dans cette même hypothèse. Si l'on considère, au contraire, chaque travée comme indépendante des autres et comme formant une poutre posée simplement sur deux appuis, c'est au milieu de la portée que se produit la plus grande fatigue, tandis que la fatigue est nulle aux points d'appui. La réalité se trouve entre ces deux hypothèses extrêmes, et comme il suffit de s'écarter fort peu de la première pour que les efforts moléculaires aux points d'appui et au milieu de la travée deviennent égaux, c'est évidemment en ce dernier point qu'il est le plus grand en général.

Le joint en porte-à-faux exige donc un éclissage plus fort, mais on peut obtenir une résistance suffisante avec les dimensions d'éclisses et de boulons que comporte la pratique.

Les deux compagnies qui ont adopté les joints chevauchés, celles du Nord et de l'Est, ne constatent pas de faits positifs en faveur de cette disposition. Les joints concordants ont en tout cas l'avantage de réduire au minimum le nombre de travées raccourcies et, par cela seul, de dé-

terminer une répartition plus avantageuse des traverses.

L'éclissage se fait toujours à quatre boulons. L'éclisse a $0^m,45$, quelquefois $0^m,48$ de longueur, et même $0^m,51$ à l'Est, et la plus grande hauteur ainsi que la plus grande épaisseur possible, eu égard au profil du rail, avec la condition de laisser un vide de 3 ou 4 millimètres entre l'âme du rail et la face intérieure des éclisses et de ne faire extérieurement qu'une très faible saillie par rapport au bord du champignon.

On donne en général aux boulons 25 millimètres de diamètre ; cependant cette dimension est réduite à 23 millimètres dans l'éclissage de l'Est, à 22 dans la voie Vignole de l'Ouest, affectée seulement aux lignes secondaires, à 20 au Midi et même à 19 millimètres seulement au Nord, où le joint est soutenu. Les trous des éclisses ont 2 millimètres et ceux des rails 4 ou 5 millimètres de plus.

Le plus souvent les écrous sont à l'intérieur de la voie, ce qui en facilite le serrage ; cependant on rencontre aussi la disposition inverse.

Pour empêcher la tête du boulon de tourner au moment où l'on serre l'écrou, la disposition la plus employée est celle des boulons à ergots avec des trous de forme correspondante dans l'éclisse. On peut alors n'avoir qu'un seul modèle d'éclisses. Cependant nous trouvons aussi des boulons à tête rectangulaire entrant dans une cannelure venue au laminage sur l'éclisse correspondante. Enfin la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a adopté récemment un modèle d'éclisses dans lequel, au lieu d'une cannelure, nous trouvons seulement une côte saillante contre laquelle vient s'appuyer le bord rectiligne de la tête du boulon, qui est arrondie sur le reste de son contour. L'emploi de deux éclisses de modèle différent à chaque joint est souvent déterminé, comme nous allons le voir, par d'autres motifs ; il ne semble pas offrir d'inconvénient sérieux dans la pratique.

Pour combattre l'entraînement des voies, la compagnie d'Orléans n'emploie aucun moyen particulier, le jugeant sans grande importance avec les voies éclissées : les chemins de fer de l'État font de même sur leurs voies à double champignon; seulement on enfonce les coins dans le sens des pentes, et, sur les paliers, dans le sens des pentes qui y aboutissent.

Les chemins de fer de l'État ont seuls conservé les encoches latérales pour leur voie à patins, mais les rails sont en fer. Les autres compagnies emploient deux procédés principaux : s'il y a des supports métalliques, coussinets ou selles, sur les traverses de contre-joint, on prolonge vers le bas le profil de l'éclisse placée à l'intérieur de la voie, et en même temps on lui donne la longueur nécessaire pour qu'elle vienne butter contre ces supports. Cette disposition a l'avantage d'augmenter sensiblement la rigidité et la résistance de l'éclisse. Avec les voies à patin sans selles, on emploie de petites cales d'arrêt qui, pincées sous les tirefonds de la traverse de contre-joint, viennent d'autre part butter contre l'éclisse voisine; ces cales d'arrêt sont ordinairement à l'extérieur de la voie. La compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, pour sa voie de 38 kilog., n'a besoin d'aucun procédé spécial, puisque les chevillettes d'attache traversent le patin.

Quand le joint est placé sur traverse, on a un moyen simple et efficace de combattre l'entraînement dans le coin d'arrêt du Nord, qui est enfoncé dans la traverse devant l'extrémité du rail, de manière à la contre-butter.

4° *Traverses.* — Nous avons fait connaître dans la première partie le nombre des traverses employées sur chaque réseau, soit par longueur de rail, soit par kilomètre. Ces nombres ne sont pas absolument invariables. On diminue le nombre des traverses sur les lignes peu fatiguées, eu égard au nombre et surtout à la vitesse des trains; on l'aug-

mente quelquefois, dans le cas contraire, ou bien dans les courbes prononcées, ou encore lorsque le ballast ou le sol de la plate-forme sont compressibles.

Ajoutons que les travées de joint sont toujours réduites à $0^m,60$. En les réduisant davantage, on rendrait le bourrage difficile. Cependant, en Allemagne, on admet qu'on peut descendre sans inconvénient jusqu'à $0^m,50$.

Sous le rapport des dimensions, des formes et du choix des essences, nous trouvons entre les différents réseaux des différences notables, qui s'expliquent en partie par celles qui se rencontrent dans les conditions d'approvisionnement.

Les dimensions sont un peu différentes suivant qu'on emploie des bois équarris ou des formes rondes.

La longueur, pour la voie ordinaire de $1^m,45$ dans œuvre, ne doit jamais être inférieure à $2^m,50$, et le plus souvent elle se rapproche de $2^m,70$; on va même à $2^m,80$. Il peut y avoir jusqu'à un certain point compensation entre cet élément et la largeur qui est le second facteur de la surface d'appui sur le ballast.

La largeur ne doit pas descendre au-dessous de $0^m,20$; quelques compagnies admettent $0^m,19$ comme limite inférieure, mais seulement pour une petite fraction des fournitures. Il vaut mieux se rapprocher de $0^m,25$, et l'on va jusqu'à $0^m,30$ et $0^m,32$ pour les traverses demi-rondes.

Comme épaisseur, il faut au moins $0^m,12$ et mieux $0^m,14$, dans les traverses équarries, un peu plus pour les traverses demi-rondes.

Avec les bois résineux et surtout avec le sapin, on peut obtenir une régularité de formes que les autres essences ne permettraient pas sans une augmentation tout à fait inacceptable de dépense. C'est un avantage que présentent les voies anglaises, dont les traverses sont formées, à peu près sans exception, de sapin rouge de la Baltique. Ces traverses, de $2^m,70$ environ de longueur, ont en général une

section de 0m,25 sur 0m,125, et certaines compagnies, sinon toutes, exigent qu'elles soient prises dans des pièces de 0m,25 d'équarrissage en plein cœur.

Un membre de la commission a insisté d'une manière toute particulière sur cette question de la régularité et de l'uniformité des traverses et sur l'importance que les Anglais y attachent, avec raison, semble-t-il. La manière différente dont les points d'appui successifs d'un rail se comportent sous la pression des roues intervient certainement pour une bonne part dans les secousses et dans les mouvements parasites qu'éprouvent les véhicules. Cette différence provient sans doute, dans une large mesure, du bourrage plus ou moins parfait du ballast; mais la diversité des formes et des dimensions des traverses y intervient aussi, en même temps qu'elle influe d'ailleurs sur l'égalité du bourrage.

Les essences employées en France sont principalement le chêne, le hêtre et le pin, puis, en moindre proportion, le sapin et le mélèze.

Le chêne équarri, ne présentant de l'aubier qu'en proportion limitée et sur la face supérieure seulement, est employé le plus souvent sans préparation; le mélèze est aussi employé sans préparation (compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée). Les autres essences et le chêne lui-même, lorsqu'on y admet des formes rondes, sont toujours préparés.

Les seuls antiseptiques usités en France sont le sulfate de cuivre et la créosote, huile lourde obtenue dans la distillation du goudron de houille à une température supérieure à 200° et même à 250°. Les traverses sulfatées se comportent mal dans les souterrains secs; on a remarqué aussi que le ballast calcaire semble exercer sur le sulfate de cuivre une action chimique par suite de laquelle les traverses s'altèrent à la surface. Les crampons et tirefonds transforment le sulfate de cuivre en sulfate de fer, nuisible

comme on sait à la conservation du bois; ces pièces elles-mêmes s'altèrent; on obvie à ce double inconvénient en les galvanisant.

Par ces diverses raisons, et peut-être aussi à cause d'une efficacité moindre en général, le sulfatage est de plus en plus abandonné et remplacé par le créosotage. On sait que ce dernier moyen est seul employé en Angleterre. En Allemagne, on emploie, au contraire, divers agents, et l'on semble obtenir de bons résultats, notamment avec le sublimé corrosif et le chlorure de zinc. Ce dernier procédé est recommandé comme très efficace et coûtant moitié moins que le sublimé corrosif et la créosote.

Le créosotage se fait par le procédé en vase clos, par vide et pression à chaud. Le poids de créosote absorbé est assez variable d'une compagnie à l'autre.

D'après la réponse des chemins de fer de l'État, on fait absorber au moins 5 kilog. par traverse, et l'on pourrait faire absorber le double. Au Midi, on se règle sur un minimum de 60 kilog. par mètre cube de bois et l'on admet un maximum de 80 kilog.; avec une moyenne de 70 kilog. cela fait 6k,360 par traverse. Ces données se rapportent au pin.

Les autres compagnies donnent les quantités suivantes par traverse :

	NORD.	EST.	OUEST.	PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Hêtre	11	19 à 32	18 et récemment 15	20 à 24
Sapin	»	22 à 32	15	»
Chêne avec aubier	3	7 à 11	5	6, 5 à 8

La compagnie de l'Est indique les quantités de créosote par mètre cube effectif de bois, savoir :

Hêtre .... de 220 à 350
Sapin .... de 250 à 350
Chêne .... de 80 à 120

Nous avons calculé la quantité par traverse en admettant pour celle-ci le cube de 0m,090, moyenne qui semble résulter du cahier des charges de cette compagnie.

Pour le chêne avec aubier, la proportion est très variable, à cause de la variation de la quantité d'aubier elle-même.

On a soin de faire le créosotage après l'élaboration complète des traverses; le bois s'imprègne alors plus abondamment dans le voisinage des trous et des entailles, où il se trouve ainsi mieux préservé.

Pour le sulfate de cuivre, la compagnie du Midi évalue la quantité maximum qu'on puisse faire absorber par le bois à 560 kilog. de dissolution, soit 7 kilog. de sulfate sec. Cette compagnie fait absorber réellement par ses traverses $6^{k},200$ par mètre cube, soit environ 560 grammes, par traverse en pin.

La compagnie d'Orléans emploie au minimum $5^{k},5$ par mètre cube de pin.

La compagnie du Nord injecte 5 kilog. de sel par mètre cube de bois de hêtre. Celle de Paris-Lyon-Méditerranée emploie 24 et 32 kilog. de dissolution par traverse de hêtre, soit, en admettant la même teneur que la compagnie du Midi pour la dissolution, $0^{k},47$ à $0^{k},62$; pour le chêne, la quantité est seulement de $7^{k},5$ à 10 kilog. de dissolution, soit 146 à 175 grammes de sel sec.

Le prix de la préparation dépend de celui des antiseptiques. La compagnie de l'Ouest estime que les frais de façon pour le créosotage ressortent à 40 ou 50 centimes par traverse, suivant les lieux où sont établis les chantiers. Elle achète la créosote à la compagnie parisienne du gaz au prix de $58^{f},25$ par tonne sur wagon à Aubervilliers, ce qui permet de calculer le prix total de la préparation.

La préparation au sulfate de cuivre revient un peu moins cher que le créosotage.

Le flambage, procédé économique, ne semble être employé que par la compagnie d'Orléans, qui en estime le coût à 30 centimes par traverse. La Staatsbahn, qui a essayé ce procédé, l'a abandonné parce qu'il exige beaucoup de précautions pour donner de bons résultats.

Les essais de voies sur longrines ou de traverses métalliques faits par diverses compagnies n'ont jamais donné jusqu'à présent de résultats favorables, et la voie sur traverses en bois est actuellement le seul type admis en France.

Paris, le 12 avril 1881.

NOTICE
SUR L'ORGANISATION DU SERVICE D'HIVER
ET SUR
LA RÉFRIGÉRATION ARTIFICIELLE DE L'EAU MINÉRALE
A L'ÉTABLISSEMENT THERMAL DE BOURBONNE

Par M. TRAUTMANN, ingénieur en chef des mines.

Les plans de reconstruction des bains de 1re classe à l'établissement thermal de Bourbonne, approuvés par l'administration, portent qu'un service d'hiver devait être organisé pour les cabinets de la moitié ouest de la façade des bains de 1re classe. Cette partie des thermes comprend, au rez-de-chaussée, 6 cabinets de bains et 4 cabinets de douches ; au premier étage, 2 cabinets de bains et 4 cabinets de bains Tivoli, en tout 16 cabinets à desservir.

La saison thermale commence officiellement le 15 avril et finit le 15 octobre, l'organisation du service dit d'hiver devrait donc fonctionner pendant six mois ; mais en réalité on s'en sert plus longtemps, car avant le 15 mai et après le 1er octobre il n'y a eu jusqu'à présent que peu de baigneurs.

Pour les quelques bains ou douches à donner par jour pendant ces sept à huit mois, il ne fallait pas songer à se servir des grandes pompes et des grands réservoirs du coteau du parc des thermes ; une organisation spéciale était nécessaire, et voici celle que nous avons installée pour l'hiver 1879-1880 et qui fonctionne depuis.

Deux réservoirs en cuivre, soutenus et consolidés par des

madriers et des croix de Saint-André, ont été placés sur le sol en ciment des combles dans la partie méridionale au-dessus des cabinets à alimenter : l'un pour l'eau minérale chaude, l'autre pour l'eau minérale refroidie ; le premier a une section de $2^m,20$ sur $1^m,40$; le second, de $4^m,20$ sur $1^m,43$. Ils sont placés au même niveau, et l'eau dans chacun d'eux peut atteindre un mètre de hauteur, ce qui donne pour l'un $3^{m3},080$ et pour l'autre $6^{m3},006$ de capacité. En supposant les deux remplis une fois par jour, il y a assez d'eau pour donner au moins 30 bains ou douches, ce qui est pour le moment largement suffisant en dehors de la saison thermale, et le sera sans doute encore pendant longtemps.

Il fallait s'abstenir de chercher à laisser l'eau minérale se refroidir naturellement dans le réservoir destiné à l'eau refroidie ; pour cela il eût fallu de plus grandes surfaces, et la place manquait complètement ; de plus, ces émanations, ces buées de l'eau minérale détériorent rapidement les combles, les charpentes du bâtiment, et ce sont elles qui ont été la cause principale de l'état de ruine dans lequel était tombé l'établissement qu'on vient d'abattre. Nous avons donc eu recours à une réfrigération artificielle et, pour éviter toute espèce de vapeur dans les combles, les deux réservoirs sont hermétiquement fermés avec des couvercles en zinc, et sur chacun de ces couvercles est soudé un tuyau en zinc traversant la toiture pour porter au dehors les émanations de l'eau minérale chaude ou refroidie. Pour s'assurer du niveau de l'eau dans les deux réservoirs, chacun de ceux-ci porte extérieurement un tube en verre indicateur du niveau.

L'eau pour l'alimentation de ces réservoirs est puisée dans le sondage n° 13, foré en 1875 sur l'emplacement de l'ancien puisard romain ; ce sondage est dans l'intérieur du bâtiment, et sa tête débouche dans une chambre donnant sur les galeries de distribution régnant sous l'établisse-

ment, et où nous avons installé l'année dernière la distribution pour les bains et douches. C'est cette chambre qui devait, d'après les plans primitifs, servir d'étuves, étuves qui depuis, sur nos propositions, ont été installées plus convenablement dans la cour intérieure.

Une pompe Greindl en bronze, portant sur le même bâti le cylindre à vapeur à double piston, est installée solidement devant le sondage. Le mouvement alternatif des pistons à vapeur est transmis à la pompe au moyen d'un excentrique et des engrenages; cette pompe a figuré à l'Exposition de 1878, où elle a été expérimentée. Elle peut débiter deux litres par seconde. La vapeur est fournie à la machine par une chaudière verticale cylindrique, à deux bouilleurs croisés, système Hermann-Lachapelle, de la force de deux chevaux-vapeur; elle est placée dans la même chambre que la pompe, à une distance de 1^m,50 de celle-ci; elle repose simplement sur un socle en fonte. Pendant sept à huit mois cette chaudière fournit la vapeur à la pompe Greindl, et pendant la saison thermale elle est installée dans le bâtiment du lavoir pour faire marcher une essoreuse qui porte également son cylindre à vapeur.

La pompe est placée au niveau des galeries de distribution, soit à la cote 254^m,17, et l'eau dans le sondage n° 13 se tient à la cote 252^m,40; le tuyau d'aspiration en cuivre a 0^m,065 de diamètre intérieur et porte à son extrémité un clapet de retenue.

Le tuyau de refoulement, également de 0^m,065 de diamètre, traverse un regard ménagé dans la voûte de la chambre pour pouvoir curer le sondage n° 13, et monte jusque dans les combles, appuyé contre une des parois du vestibule des bains. On trouvera peut-être le diamètre de l'aspiration et du refoulement un peu fort, mais cela nous a paru préférable pour la bonne marche de la pompe; avec ce diamètre il n'y a nulle part d'étranglement et la

section du parcours de l'eau est partout la même que dans la pompe elle-même. Le tuyau arrivé dans les combles se déverse dans une bâche qui n'est autre qu'une ancienne baignoire qui est placée à 2 mètres au-dessus du sol des combles, c'est-à-dire à un mètre au-dessus des couvercles des réservoirs. Il a fallu élever cette bâche à ce niveau à l'effet d'avoir une charge suffisante pour faire parcourir à l'eau minérale le réfrigérateur et la faire remonter dans le réservoir d'eau refroidie. Cette bâche est d'ailleurs fermée également par un couvercle en zinc portant un tuyau traversant la toiture pour empêcher les vapeurs d'eau de se répandre dans les combles.

Du fond de cette bâche part un tuyau de $0^m,065$ de diamètre, de $2^m,50$ de longueur et muni d'un robinet pour déverser l'eau minérale chaude dans le réservoir d'eau chaude. Le réfrigérateur est placé dans le caniveau même des galeries de distribution ; nous avons préféré de beaucoup agir ainsi au lieu de placer le réfrigérateur dans les combles entre les réservoirs ; il eût été imprudent d'y amener une masse d'eau douce froide, car malgré toute la surveillance elle se serait répandue plus d'une fois sur le sol des combles et aurait détérioré les constructions. D'un autre côté, le réservoir d'eau douce, où est puisée l'eau froide, a son radier à la cote $263^m,87$, et le sol des combles est à $263^m,20$, et il eût été à craindre que souvent il n'y eût pas assez de charge pour amener au réfrigérateur l'eau nécessaire par des conduites qui ont plus de 100 mètres de longueur. En plaçant, au contraire, le réfrigérateur dans les galeries de distribution, dont le sol est à $254^m,17$, on a toujours une forte charge, et d'un autre côté l'eau douce sortant de l'auge du réfrigérateur se déverse directement dans le caniveau des galeries pour se rendre à l'aqueduc de décharge; enfin avec cette disposition le réfrigérateur se trouve à côté même de la pompe et sous les yeux du chauffeur de la machine.

Un second tuyau de $0^m,065$ part donc également du fond de la bâche et descend jusque dans la galerie de distribution ; il est placé à côté de celui de refoulement et porte un robinet avant son entrée dans le réfrigérateur.

L'auge du réfrigérateur a été faite dans le caniveau même des galeries ; elle est en ciment et a $8^m,20$ de long sur $0^m,60$ de large et $0^m,15$ de haut ; en dessous de cette auge on a conservé le fond du caniveau pour l'écoulement de l'eau provenant des bains et douches. Cette auge ne dépasse pas le sol des galeries ; elle est recouverte comme le caniveau, et l'on ne s'aperçoit pas de son existence.

Le réfrigérateur lui-même se compose de 45 tuyaux en cuivre étiré et brasé, de 8 mètres de longueur chacun, placés sur trois rangs en quinconce. Aux deux extrémités ces tuyaux, de $0^m,01$ de diamètre intérieur et de $0^m,001$ d'épaisseur, aboutissent à deux boîtes rectangulaires sur lesquelles ils sont soudés. Les tuyaux d'une même rangée sont écartés de $0^m,04$ d'axe, en axe et les trois rangées sont également distantes l'une de l'autre de $0^m,04$ d'axe en axe. Tout cet ensemble est noyé dans l'auge, dont l'eau dépasse de $0^m,05$ la rangée supérieure. A l'une des boîtes aboutit le tuyau descendant amenant l'eau minérale chaude ; de l'autre part un tuyau également de $0^m,065$ pour amener l'eau minérale refroidie au réservoir d'eau refroidie placé dans les combles ; ce tuyau est placé le long de la paroi du vestibule d'entrée opposée à celle contre laquelle s'appuie le tuyau descendant.

Par suite de la disposition des lieux nous avons été amené à diriger le courant de l'eau minérale dans les tuyaux en sens inverse de celui de l'eau douce dans l'auge ; nous établirons d'ailleurs plus loin que, par ce moyen, toutes choses égales d'ailleurs, on obtient toujours un refroidissement plus grand qu'avec les deux courants dans le même sens, et que cette disposition était nécessaire dans le cas actuel.

Dans les galeries de distribution régnant sous les bains de 1re classe nous avons fait placer en 1879, sur des rayonnages ménagés à cet effet, sept distributeurs de différents diamètres pour l'alimentation des bains et douches de cet établissement. 1° Deux tuyaux, un d'eau chaude, l'autre d'eau refroidie, partent des grands réservoirs du coteau pour les cabinets de bains tant du rez-de-chaussée que du premier étage ; 2° deux tuyaux (un pour eau chaude et l'autre pour eau refroidie) partent également des réservoirs du coteau pour douches fortes au rez-de-chaussée et pour douches Tivoli au premier étage ; 3° deux tuyaux partent des bâches des douches faibles pour les douches faibles du rez-de-chaussée ; 4° enfin un tuyau pour amener l'eau douce du réservoir placé à mi-côte dans les cabinets de bains du rez-de-chaussée.

Dans les cabinets de douches du rez-de-chaussée, il y a deux douches par cabinet : une forte, puisant dans les réservoirs du coteau ; l'autre faible, puisant dans les bâches des douches faibles ; au premier étage, pour les douches Tivoli, toute l'eau vient des réservoirs du coteau. Ainsi, pour alimenter les 16 cabinets du service d'hiver, il suffisait de mettre les réservoirs des combles en communication avec les distributeurs des bains et des douches fortes. A cet effet deux tuyaux de $0^m,050$ de diamètre partent du réservoir d'eau chaude, descendent à côté du tuyau de refoulement et sont embranchés sur les distributeurs d'eau chaude des bains et des douches fortes. Du réservoir d'eau refroidie descendent également deux tuyaux de $0^m,065$ de diamètre pour s'embrancher dans la galerie sur les distributeurs d'eau refroidie des bains et des douches fortes ; ils sont logés à côté du tuyau montant d'eau refroidie.

Dans les 16 cabinets du service d'hiver l'installation est absolument la même que dans les autres cabinets de 1re classe, c'est-à-dire tuyaux d'amenée en cuivre avec des appareils mélangeurs proposés par nous et que nous avons

été autorisé à employer, au lieu de ceux analogues aux bains de 2e classe. Nous reviendrons d'ailleurs sur ce point dans un autre mémoire plus complet sur Bourbonne dès que l'établissement de 1re classe sera achevé.

Il n'y a donc aucune modification à apporter dans ces cabinets pour passer du service d'été au service d'hiver. Pendant la durée de ce dernier service, pour empêcher l'eau de se répandre dans toute la longueur des distributeurs qui règnent sous toute la 1re classe, nous avons placé sur ceux-ci, aux deux extrémités des longueurs réservées au service d'hiver, des vannes véritables, de beaucoup préférables aux robinets-vannes de la 2e classe. Ces vannes sont au nombre de huit, deux pour chacun des quatre distributeurs. D'un autre côté, pour empêcher, pendant le service d'été, l'eau de refluer dans les réservoirs des combles par les tuyaux allant de ceux-ci aux distributeurs, ces tuyaux portent chacun un robinet. Pour passer du service d'été au service d'hiver, il suffit donc de fermer huit vannes et d'ouvrir quatre robinets. Si plus tard, quand l'aile est de la façade sera reconstruite et aménagée, celle-ci doit également faire partie du service d'hiver, il suffira de ne pas fermer quatre des vannes.

Cette organisation fonctionne très bien depuis deux saisons d'hiver; elle a l'avantage d'être très élastique et de se prêter à tous les besoins ; on peut élever de l'eau chaude et de l'eau refroidie pendant la durée des bains et douches sans qu'il en résulte aucun inconvénient, et régler les proportions d'eau chaude et d'eau refroidie, ainsi que la température de celle-ci, à volonté. Pour cela il suffit de régler l'ouverture de trois robinets, placés, l'un sur le tuyau allant de la petite bâche au réservoir d'eau chaude, le second sur le tuyau partant de cette bâche pour aboutir au réfrigérateur, et le troisième sur la conduite qui déverse l'eau douce dans l'auge, sans modifier en rien la marche de la pompe et de la machine à vapeur.

Le chauffeur-mécanicien, se trouvant toujours près de sa machine dans le sous-sol et ne pouvant surveiller à la fois les réservoirs, il arrivait quelquefois que ceux-ci se remplissaient trop et débordaient en répandant l'eau sur le sol des combles. Pour éviter cet inconvénient nous avons placé des trop-pleins sur ces deux réservoirs ; de ces trop-pleins partent des tuyaux de cuivre de $0^m,025$ qui se réunissent en un seul qui descend jusque dans la chambre de la machine auprès du chauffeur, et celui-ci est ainsi immédiatement averti si l'un ou l'autre des récipients est trop plein ; de plus, un tuyau amène dans le réservoir d'eau chaude le trop-plein de la bâche.

Pour toute cette organisation nous avons été efficacement secondé par le garde-mines de Bourbonne, M. Préchey, qui avait la surveillance immédiate des travaux. Y compris la pompe, la machine et la chaudière à vapeur, la dépense n'a pas dépassé 6.000 francs.

Nous allons donner quelques détails sur la marche et les résultats du réfrigérateur.

Le sondage n° 13 débite environ 160 mètres cubes d'eau minérale par vingt-quatre heures ; à la sortie du sondage celle-ci a 65°.

L'eau douce froide provient du captage de la source dite de Montlétang, située à environ 900 mètres de l'établissement thermal, à l'ouest, dans la vallée de la Borne ; cette source, comme la plupart de celles des environs, coule à la base du muschelkalk sur les argiles bariolées du grès bigarré. Elle est amenée à l'établissement thermal dans des tuyaux en grès sur 600 mètres et dans des tuyaux en fonte pour les 300 mètres restants. Son débit, pendant l'hiver, atteint quelquefois 80 mètres cubes en vingt-quatre heures. A l'établissement thermal elle est reçue dans un réservoir placé à mi-côte, dans le parc des bains, et dont le radier est à la cote $263^m,87$; il peut contenir environ 56 mètres cubes. La hauteur de chute entre la source

et le réservoir est de 1 mètre. Pendant l'hiver la température de cette eau, à l'établissement thermal, varie entre 9° et 10°. Pendant la saison thermale cette eau est employée pour les bains et douches mitigés et principalement pour le lavoir; pendant l'hiver elle est à peu près sans emploi. Il était donc rationnel de s'en servir pour la réfrigération de l'eau thermale pendant la saison d'hiver, d'autant plus que la tuyauterie partant du réservoir était déjà faite et passait à côté du réfrigérateur.

Nous avons fait faire par le garde-mines une série d'expériences pendant l'hiver dernier; nous avons assisté à quelques-unes d'entre elles et donné des instructions détaillées à M. Préchey. Pour chaque expérience on variait la quantité d'eau thermale et celle d'eau douce passant dans un temps donné dans le réfrigérateur; on obtenait facilement ces variations par des manœuvres de robinets. Chaque expérience durait une demi-heure; à la fin de l'expérience on jaugeait la quantité d'eau thermale et celle d'eau douce passées par le réfrigérateur. Pour la première on prenait exactement la hauteur de l'eau dans le réservoir d'eau refroidie des combles avant le commencement de l'expérience, les tuyaux et le réfrigérateur étant déjà pleins d'eau; on la mesurait également à la fin de l'expérience; la section du réservoir étant exactement connue, on en a conclu le volume d'eau. Pour l'eau douce, les hauteurs étaient prises dans le réservoir d'eau douce également au commencement et à la fin de chaque expérience; les sections aux différents niveaux dans ce réservoir avaient préalablement été prises exactement. Bien entendu, pendant ces expériences, la source de Montlétang ne se déversait pas dans le réservoir d'eau douce : on la laissait s'écouler dans les galeries; de même que, pendant tout le temps, on ne prenait ni eau douce ni eau minérale refroidie, soit pour bain, soit pour douche ou pour tout autre emploi.

La température de l'eau minérale à son entrée dans le réfrigérateur était donnée par un thermomètre placé à demeure dans une ouverture faite dans le tuyau amenant cette eau et placée immédiatement au-dessus de l'entrée dans le réfrigérateur. A la sortie on obtenait la température par une disposition analogue sur le tuyau amenant l'eau refroidie dans le réservoir des combles. La température de l'eau douce, à son entrée dans l'auge, était mesurée directement au jet, et à sa sortie elle était mesurée au déversoir qui la menait dans le caniveau de la galerie. Ces températures étaient relevées un quart d'heure après le commencement de l'expérience, quand tout l'ensemble fonctionnait régulièrement, et une seconde fois dix minutes après; on s'assurait, d'ailleurs, dans l'intervalle qu'il n'y avait pas de variation notable dans les températures. Les températures d'arrivée de l'eau thermale et de l'eau douce n'ont jamais varié pendant la durée d'une expérience; celle de sortie de l'eau minérale a varié, mais dans des limites très resserrées, dues sans doute, en grande partie, aux faibles variations de vitesse de la pompe Greindl. Pour ce qui concerne la température de l'eau douce à la sortie, la moyenne a été plus difficile à connaître. Dans les formules qui suivent, nous admettons que la température de l'eau thermale est rigoureusement la même dans les 45 tubes d'une section normale au réfrigérateur, de même que nous supposons que l'eau douce a la même température dans toute l'étendue de cette section. En réalité les choses ne se passent pas ainsi : à mesure que l'eau douce avance dans l'auge du réfrigérateur, elle s'échauffe au contact de l'eau thermale, et les couches inférieures de l'auge s'élèvent vers la surface pour être remplacées par de l'eau plus froide; il y a ainsi dans l'auge une série de couches horizontales dont la température va en augmentant de l'une à l'autre dans une section transversale à mesure qu'on s'élève; d'un autre côté, dans

chacune de ces couches, la température va en augmentant d'une extrémité à l'autre de l'auge, et ce n'est guère qu'au point d'entrée que toutes les couches ont la même température sur toute la hauteur.

Il s'ensuit que le refroidissement de l'eau thermale ne doit pas être le même dans une même section pour des tubes placés à des niveaux différents, et dans ceux du bas il doit être plus considérable que dans ceux du haut. La température de l'eau minérale à la sortie du réfrigérateur a été prise immédiatement après son entrée dans le tuyau qui amène l'eau au réservoir d'eau refroidie, et les différents filets d'eau sortant des 45 tubes ont déjà pu se mélanger dans le remou qui se fait dans la bâche rectangulaire pour entrer dans le tuyau; on a eu ainsi la véritable température moyenne de l'eau refroidie; aussi cette température a-t-elle varié très peu pendant la durée d'une expérience. Il n'en a pas été de même pour l'eau douce réchauffée à sa sortie de l'auge, où elle se déverse en lame mince par un déversoir de $0^m,50$ de largeur. Sur cette largeur la température n'était pas toujours la même en tous les points et même quelquefois elle variait d'un peu plus d'un degré sur un point donné; ces différences provenaient des différentes couches et filets qui arrivaient successivement au déversoir sur tel ou tel point. Pour avoir exactement la température moyenne il aurait fallu mélanger complètement les différents filets, comme cela a lieu pour la sortie de l'eau thermale, mais nous avons jugé inutile de prendre des dispositions à cet effet; car cette température moyenne, eût-elle été exactement connue, n'aurait guère pu être introduite dans les formules qui suivent, vu que l'eau douce cède toujours une partie de son calorique soit à l'air ambiant, soit aux parois de l'auge, pendant son séjour dans celle-ci; cette perte est même très sensible dès que l'eau douce s'échauffe notablement. Au surplus, il n'était pas indispensable de prendre la température moyenne de l'eau

douce à sa sortie; connaissant d'un côté la quantité de calories perdues par l'eau thermale et le cube de celle-ci, et de l'autre la quantité d'eau douce passée pendant le même temps dans l'auge, et la température de cette eau à son entrée dans l'auge, il était facile d'en conclure la température de l'eau douce, puisque, nécessairement, la quantité de calories perdues par la première avait été gagnée par la seconde. Aussi dans le tableau que nous donnons plus loin avons-nous placé à côté de la température observée de sortie de l'eau douce celle calculée, et c'est cette dernière seulement que nous avons introduite dans les formules. En résumé, dans les formules qui suivent, les températures de chaque section, tant pour l'eau thermale que pour l'eau douce, sont les températures moyennes, c'est-à-dire la somme des produits des volumes qui ont même température par leurs températures respectives, divisée par la somme des volumes. C'est aux températures ainsi définies que s'appliquent les formules qui suivent; d'après le principe généralement admis elles sont entièrement exactes dès qu'on connaît ces températures moyennes en un point quelconque du réfrigérateur.

On admet généralement en physique que la quantité de calories qui passe par seconde au travers d'une plaque métallique d'une épaisseur donnée, baignée sur ses deux faces par des liquides à des températures différentes, est proportionnelle à la surface de la plaque et à la différence de température des liquides sur ces deux faces. Appelons *m* la quantité de calories qui passe à travers les tubes de $0^m,001$ d'épaisseur du réfrigérateur par seconde, par mètre carré de surface intérieure des tubes et pour un degré de différence de température des liquides sur les deux faces; c'est cette quantité que nous voulons rechercher. Nous savons bien que cette loi n'est pas mathématiquement exacte dès que les différences de températures sont grandes, mais ici nous ne sortons pas des limites où elle peut être acceptée en

pratique, et, d'un autre côté, nous ne prétendons rechercher la valeur moyenne de m que pour le réfrigérateur en question.

Soit a la quantité d'eau thermale qui passe par seconde dans le réfrigérateur et k la surface refroidissante des tubes correspondants à ce volume ; la fraction $\frac{k}{a}$ reste constante pour un réfrigérateur donné, elle est toujours égale à $\frac{4}{d}$ (d étant le diamètre des tubes), quelle que soit la valeur de a ; soit b la quantité d'eau douce qui passe également par seconde dans l'auge. Nous exprimerons les quantités a et b en litres, et nous admettrons que le litre d'eau, aux différentes températures, pèse toujours 1 kilog. ; de cette façon a et b multipliés par leurs températures respectives exprimeront toujours des calories. Nous croyons superflu, dans les limites des températures dans lesquelles nous opérons, de faire les corrections nécessaires pour transformer les litres à différentes températures rigoureusement en kilogrammes ; ce serait inutilement surcharger les formules sans modifier sensiblement les résultats. Ainsi a et b seront à la fois des litres et des kilogrammes à toutes les températures, k est exprimé en mètres carrés, m en unités de calories.

Prenons une section quelconque très mince dans le réfrigérateur, et appelons x la température moyenne de l'eau thermale dans cette section et y celle de l'eau douce. Pendant le temps $d\lambda$ il passera dans cette section une quantité d'eau thermale $ad\lambda$ à la température x, et la surface refroidissante pour ce volume sera $kd\lambda$. Pendant le temps $d\lambda$ ce volume perdra une quantité de calories représentée par $kd\lambda md\lambda\ (x-y)$; mais cette quantité est également représentée par $ad\lambda dx$, on a donc l'équation

$$ad\lambda dx = kd\lambda md\lambda\ (x - y)$$

ou simplement

$$adx = - kmd\lambda\,(x - y),$$

en faisant observer que dx et $d\lambda$ sont des signes contraires; on obtient de même

$$bdy = - kmd\lambda\,(x - y).$$

Représentons, pour abréger, $\frac{km}{a}$ par n et $\frac{km}{b}$ par n' et on aura

$$dx = - nd\lambda\,(x - y) \qquad (1)$$
$$dy = - n'd\lambda\,(x - y) \qquad (2)$$

Pour un réfrigérateur donné, n reste invariable; $\frac{k}{a}$ est invariable comme nous l'avons dit, d'un autre côté m ne doit varier qu'avec l'épaisseur et la nature du métal employé pour les tubes.

Appelons x_0 la température de l'eau minérale à son entrée dans le réfrigérateur et X celle à la sortie ; de même y_0 celle de l'eau douce à la sortie et Y celle à son entrée et rappelons que les deux courants marchent en sens inverse.

En divisant les deux équations l'une par l'autre on a

$$\frac{dx}{dy} = \frac{n}{n'} \text{ d'où } n'x - ny = C = n'x_0 - ny_0$$

ou

$$n'(x_0 - x) = n(y_0 - y).$$

Cette équation est indépendante de λ et n'indique autre chose que l'échange de calories entre les deux eaux pour un temps quelconque.

Retranchant les deux équations l'une de l'autre, on a

$$dx - dy = (n' - n)\,d\lambda\,(x - y)$$

ou

$$\frac{dx - dy}{x - y} = (n' - n)\,d\lambda,$$

en intégrant

$$l.\,(x-y)=(n'-n)\lambda+C,$$

pour $\lambda=o$, $x-y$ devient x_0-y_0 : donc

$$C=l.\,(x_0-y_0)$$

et finalement

$$l.\left(\frac{x-y}{x_0-y_0}\right)=(n'-n)\lambda$$

ou

$$x-y=(x_0-y_0)\,e^{(n'-n)\lambda}. \qquad (3)$$

En ajoutant les deux équations (1) et (2) on obtient

$$dx+dy=-(n+n')\,d\lambda\,(x-y)=-(n+n')\,d\lambda\,(x_0-y_0)\,e^{(n'-n)\lambda}$$
$$=-\frac{(n+n')}{(n'-n)}(x_0-y_0)\,(n'-n)\,d\lambda e^{(n'-n)\lambda}$$

et en intégrant

$$x+y=-\frac{(n+n')}{(n'-n)}(x_0-y_0)e^{(n'-n)\lambda}+C$$

pour $\lambda=o$, x et y deviennent x_0 et y_0 et on a

$$x_0+y_0=-\frac{n+n'}{n'-n}(x_0-y_0)+C,$$

d'où

$$C=\frac{2n'x_0-2ny_0}{n'-n}$$

et

$$x+y=-\frac{n+n'}{n'-n}(x_0-y_0)e^{(n'-n)\lambda}+\frac{2n'x_0-2ny_0}{n'-n}. \qquad (4)$$

Ajoutant et retranchant les deux équations (3) et (4) e divisant par 2, on a enfin

$$x=\frac{n\,(x_0-y_0)}{n-n'}e^{(n'-n)\lambda}+\frac{ny_0-n'x_0}{n-n'}$$

et

$$y = \frac{n'(x_0 - y_0)}{n - n'} e^{(n'-n)\lambda} + \frac{ny_0 - n'x_0}{n - n'}.$$

Dans ces deux valeurs de x et de y, y_0 n'est pas connu ; pour éliminer y_0 il faut faire, dans celle de y, $\lambda = L$ et $y = Y$, en tirer y_0 et le remplacer par sa valeur dans le second membre des équations ci-dessus. La longueur L du réfrigérateur est exprimée dans les équations en secondes, c'est-à-dire par le nombre de secondes que met le volume a à parcourir la longueur du réfrigérateur ou bien, en se rappelant que a est exprimé en litres, par $\frac{45 \times 80 \times \pi \times 0.1^2}{4a}$ secondes ou par $\frac{28,2744}{a}$.

En éliminant ainsi y_0, on a définitivement.

$$x = \frac{n(x_0 - Y)e^{(n'-n)\lambda} + nY - n'x_0 e^{(n'-n)L}}{n - n'e^{(n'-n)L}} \quad (5)$$

et

$$y = \frac{n'(x_0 - Y)e^{(n'-n)\lambda} + nY - n'x_0 e^{(n'-n)L}}{n - n'e^{(n-n'L)}}. \quad (6)$$

Les valeurs de x et y sont donc représentées par deux courbes logarithmiques qui ont toutes les deux une même asymptote parallèle à l'axe des λ.

Si $n' > n$, ces courbes sont concaves vers l'axe des λ et l'asymptote est du côté des λ négatifs ; si $n' <$, n elles sont convexes vers l'axe des λ et l'asymptote est du côté des λ positifs. L'ordonnée de l'asymptote, dans un cas comme dans l'autre, a pour valeur $\frac{nY - n'x_0 e^{(n'-n)L}}{n - n'e^{(n'-n)L}}$.

Si $n' = n$, les valeurs de x et y sont indéterminées ; cela vient de ce qu'on a introduit dans les calculs le facteur $(n' - n)$.

Pour avoir ces valeurs, il faut remonter aux équations premières. On a d'abord

$$x - y = x_0 - y_0$$

et

$$dx + dy = -2nd\lambda\,(x - y) = -2nd\lambda\,(x_0 - y_0),$$

d'où

$$x + y = -2n\lambda\,(x_0 - y_0) + C \quad \text{et} \quad C = x_0 + y_0,$$

donc

$$x = x_0 - n\lambda\,(x_0 - y_0) \quad \text{et} \quad y = y_0 - n\lambda\,(x_0 - y_0)\,;$$

en éliminant encore ici y_0 en fonction de Y, on obtient

$$x = \frac{x_0 - n\lambda\,(x_0 - Y)}{1 + nL} \tag{7}$$

et

$$y = \frac{Y + nLx_0 - n\lambda\,(x_0 - Y)}{1 + nL}. \tag{8}$$

Les valeurs de x et y pour $n' = n$ sont donc représentées par deux droites parallèles. On serait d'ailleurs tombé sur les mêmes valeurs et prenant les dérivées des deux termes de la fraction des valeurs de x et y (5) et (6).

Les valeurs de x et de y trouvées plus haut peuvent s'écrire sous une autre forme qui permet mieux de les comparer avec celles qu'on obtient avec les deux courants d'eau douce et d'eau thermale dans le même sens.

On peut en effet mettre x et y sous la forme

$$x = x_0 + \frac{n\,(x_0 - Y)\,(e^{(n-n)\lambda} - 1)}{n - n'e^{(n'-n)L}} \tag{9}$$

et

$$y = Y + \frac{n'\,(x_0 - Y)\,(e^{(n'-n)\lambda} - e^{(n'-n)L})}{n - n'e^{(n'-n)L}}, \tag{10}$$

et la température de l'eau thermale à la sortie du réfrigérateur est alors

$$X = x_0 + \frac{n(x_0 - Y)(e^{(n'-n)L} - 1)}{n - n'e^{(n'-n)L}}. \qquad (11)$$

Nous ferons remarquer que n, n' et L étant des quantités essentiellement positives, le second terme de la valeur de X est toujours négatif. Si $n' < n$, à fortiori $n'e^{(n'-n)L}$ est plus petit que n et le dénominateur est positif; mais alors $e^{(n'-n)L}$ est < 1 et le numérateur est négatif. Si $n' > n$ le dénominateur est négatif, mais alors $e^{(n'-n)L}$ est > 1 et le numérateur est positif. Le second terme de x est toujours négatif pour des valeurs positives de λ, tandis que le second terme de y est toujours positif, tant que λ est plus petit que L.

En supposant qu'on établisse dans l'appareil de réfrigération les deux courants dans le même sens et qu'on conserve aux différentes expressions la même signification et les mêmes valeurs, il suffit de changer dans les équations primitives n' en $-n'$ et on a alors, en rappelant qu'ici y_0 est égal à Y,

$$x' = \frac{n(x_0 - Y)e^{-(n+n')\lambda}}{n + n'} + \frac{nY + n'x_0}{n + n'}$$

et

$$y' = \frac{-n'(x_0 - Y)e^{-(n+n')\lambda}}{n + n'} + \frac{nY + n'x_0}{n + n'}$$

ou bien

$$x' = x_0 + \frac{n(x_0 - Y)}{n + n'}(e^{-(n+n')\lambda} - 1) \qquad (12)$$

et

$$y' = Y + \frac{n'(x_0 - Y)}{n + n'}(1 - e^{-(n+n')\lambda}) \qquad (13)$$

Les deux courbes logarithmiques qui représentent x' et y'

ont l'asymptote commune du côté des λ positifs à une distance de l'axe des λ égale à $\frac{nY + n'x_0}{n + n'}$, valeur toujours positive et plus grande que Y, puisque x_0 est toujours supposé plus grand que Y. La courbe des x' est convexe vers l'axe des λ et celle de y' est concave.

Le second terme de x' est toujours négatif pour des valeurs positives de λ, tandis que celui de y' est toujours positif pour ces mêmes valeurs.

Si ici $n' = n$, les deux courbes des x' et y' sont identiques, mais elles sont symétriquement placées de chaque côté de l'asymptote commune.

La température de l'eau minérale à la sortie du réfrigérateur est, pour les courants dans le même sens,

$$X' = x_0 + \frac{n(x_0 - Y)(e^{-(n+n')L} - 1)}{n + n'}. \qquad (14)$$

La valeur de X' est toujours plus grande que celle de X, ou, en d'autres termes, on obtient toujours, toutes choses égales d'ailleurs, un refroidissement plus grand avec les courants en sens inverse qu'avec les courants dans le même sens.

En premier lieu, pour des valeurs très petites de λ, x' est plus petit que x; c'est ce qu'indique la valeur de $\frac{dx}{d\lambda}$ qui donne la tangente à l'intersection x_0 pour $\lambda = 0$; cette tangente a pour valeur $-n\ (x_0 - y_0)$, et $x_0 - y_0$ dans le mouvement inverse est plus petit que $x_0 - y_0$ du mouvement direct. Cela découle d'ailleurs du principe même admis pour le refroidissement. Pour des valeurs très grandes de λ, au contraire, x' est plus grand que x. En effet, pour $n' \geqq n$, x tend vers l'infini négatif comme le font voir les équations; pour $n' < n$, x tend vers $\frac{nY - n'x_0 e^{(n'-n)L}}{n - n'e^{(n'-n)L}}$.

Quelle que soit la valeur de n', x' tend vers $\frac{nY + n'x_0}{n + n'}$ à mesure que λ augmente.

Or, si n' est plus petit que n, comme x_0 est toujours plus grand que Y, la première expression est toujours plus petite que Y et la seconde plus grande que Y. Ainsi, dans tous les cas, pour des valeurs très grandes de λ ou pour $\lambda = \infty$, x' est plus grand que x.

Il y a donc une seconde intersection entre les courbes des x et des x', autre que celle du point $\lambda = 0$.

Pour l'obtenir il faut égaler les deux expressions de x et x' et en tirer la valeur de λ; cette équation se réduit à

$$\frac{e^{(n'-n)\lambda} - 1}{n - n'e^{(n-n')L}} = \frac{e^{-(n+n')\lambda} - 1}{n + n'}.$$

Elle fait voir que la valeur cherchée de λ est indépendante des températures initiales x_0 et Y, mais bien entendu en supposant qu'elles soient les mêmes pour les courants directs et les courants en sens inverses. Cette équation ne peut être résolue algébriquement, d'ailleurs la solution n'aurait ici aucune utilité; ce que nous cherchons à établir, c'est que, pour $\lambda = L$, x est toujours plus petit que x', c'est-à-dire que X est plus petit que X'; qu'enfin l'intersection cherchée a toujours lieu pour une valeur de λ plus petite que L, en supposant d'ailleurs à L une valeur finie.

Les valeurs de X et de X' se composent chacune de deux termes dont le premier est le même des deux côtés; les seconds termes sont tous les deux négatifs comme nous l'avons indiqué; pour que X soit plus petit que X', il faut donc que la valeur absolue du second terme de X soit toujours plus grande que celle du second terme de X'.

Pour X' la valeur absolue ou positive du second terme est

$$\frac{n(x_0 - Y)(1 - e^{-(n+n')L})}{n + n'}$$

et, pour le second terme de X, de

$$\frac{n(x_0 - Y)(1 - e^{(n'-n)L})}{n - n'e^{(n'-n)L}}.$$

il faut donc comparer

$$\frac{1 - e^{-(n+n')L}}{n + n'} \quad \text{et} \quad \frac{1 - e^{(n'-n)L}}{n - n'e^{(n'-n)L}}.$$

Mais pour cela il faut non seulement les réduire au même dénominateur, mais encore rendre positif au préalable chacun des termes de la fraction.

$\frac{1 - e^{-(n+n')L}}{n + n'}$ a toujours ses deux termes positifs, mais il n'en est pas de même de la seconde. Si $n' < n$, il faut prendre l'expression ci-dessus; mais si $n' > n$, il faut choisir celle de

$$\frac{e^{(n'-n)L} - 1}{n'e^{(n'-n)L} - n}$$

qui a ses deux termes positifs.

Pour $n' < n$, on a

$$\frac{1 - e^{(n'-n)L}}{n - n'e^{(n'-n)L}} - \frac{1 - e^{-(n'+n)L}}{n + n'} = \frac{ke^{2nL} - e^{nL(1+k)} + e^{nL(1-k)} - k}{e^{2nL}(n - n'e^{(n'-n)L})(n + n')};$$

en faisant $n' = kn$, k étant ici plus petit que 1.

Le dénominateur est positif, puisque $n' < n$; pour établir que le numérateur l'est également il faut développer e^{2nL}, $e^{nL(1+k)}$ et $e^{nL(1-k)}$ en séries, d'après la formule

$$e^x = 1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{1.2} + \frac{x^3}{1.2.3} + \text{etc......}$$

En faisant cette transformation sur le numérateur, les termes indépendants de nL, ainsi que ceux de la première et de la seconde puissance de nL, disparaissent ; puis vient une série de termes positifs, rangés suivant les puissances croissantes de nL, et dont la forme générale est :

$$\frac{n^r L^r}{1.2.3\ldots r}\Big\{2^r k - \Big[2rk + \frac{2r(r-1)(r-2)k^3}{1.2.3} + \\ + \frac{2r(r-1)(r-2)(r-3)(r-4)k^5}{1.2.3.4.5} + \ldots\Big]\Big\};$$

le dernier terme du polynôme entre parenthèses est $2k^r$, si r est impair, et $2rk^{(r-1)}$ si r est pair. Or la somme des coefficients de ce polynôme, composé de termes tous positifs, rangés suivant les puissances croissantes impaires de k, est égale à 2^r, et puisque k est < 1 la somme du polynôme est elle-même $< 2^r k$.

Donc le numérateur ci-dessus, composé d'une série de termes positifs, est positif.

Si n' est plus grand que n, il faut comparer les deux expressions $\frac{e^{(n'-n)L} - 1}{n'e^{(n'-n)L} - n}$ et $\frac{1 - e^{-(n+n')L}}{n+n'}$ et en procédant comme ci-dessus on reconnaîtra également que la première est plus grande que la seconde en faisant $n' = kn$, k étant > 1.

Si $n' = n$, il faut comparer $\frac{nL}{1+nL}$ avec $\frac{1 - e^{-2nL}}{2}$.

Si $nL \geqq 1$, la première est évidemment plus grande que la seconde; si nL est < 1 il faut encore avoir recours au développement en série de e^{-2nL}; les termes indépendants de nL, de première et de deuxième puissance, disparaissent, et les autres sont tous positifs suivant les puissances croissantes de nL, en retranchant la seconde fraction de la première.

Donc, en général, X est plus petit que X′ ou, en d'autres termes, on obtient toujours, toutes choses égales d'ailleurs, un plus grand refroidissement avec les courants en sens inverse qu'avec les courants dans le même sens.

Cette différence est d'autant plus grande que nL est plus grand ou que L est plus grand (puisque n est constant ou reste le même dès que le diamètre des tuyaux, la nature et l'épaisseur du métal ne changent pas), c'est-à-dire

qu'il passe moins d'eau minérale dans le réfrigérateur.

D'un autre côté, pour L constant, la différence atteint son maximum pour une certaine valeur de n' sur laquelle nous reviendrons tout à l'heure; elle diminue à mesure que n' croît ou décroît à partir de cette valeur, et elle devient nulle pour $n' = 0$ ou $n' = \infty$.

Pour $n' = 0$ les deux valeurs de X et de X' deviennent toutes deux égales à

$$x_0 + (x_0 - Y)(e^{-nL} - 1) \text{ ou } Y + (x_0 - Y)e^{-nL};$$

cela suppose qu'il arrive une quantité infinie d'eau refroidissante. Si n' est infini, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'eau refroidissante, X et X' restent constamment égales à x_0.

Le plus grand refroidissement qu'on puisse obtenir avec un réfrigérateur donné est donc l'expression ci-dessus.

Nous ferons remarquer que, quand nous parlons de la longueur du réfrigérateur dans les formules, ce n'est pas la longueur en mètres qui est représentée par L; L représente des secondes et est égal à la longueur du réfrigérateur en mètres divisé par la vitesse par seconde de l'eau dans les tubes. Ainsi, quoique la longueur en mètres reste la même, L varie en raison inverse de a; n seul reste constant dans toutes ces formules, malgré les variations de a, de b, de k et de L.

Nous reproduisons dans le tableau ci-après les résultats des expériences que nous avons faites à Bourbonne pour avoir la valeur de m. Nous avons déjà dit comment ont été pris les volumes d'eau; le résultat par seconde doit être regardé comme assez exact, puisque les expériences ont duré, chacune, une demi-heure, et que les quantités jaugées se sont élevées de 3.000 à 12.000 litres. Pour les températures, vu la disposition des lieux, on ne pouvait les observer qu'à un quart de degré près; ce n'est donc qu'une approximation, mais elle est suffisante pour le but que nous poursuivons.

A côté des températures observées de l'eau douce à la sortie du réfrigérateur nous avons placé les températures calculées; ce sont ces dernières qui ont été introduites dans la formule.

Pour calculer m, nous nous sommes servi de la formule

$$l\left(\frac{x-y}{x_0-y_0}\right)=(n'-n)\lambda,$$

qui, en remplaçant x et y par X et Y, et λ par L, et prenant les logarithmes ordinaires, devient

$$2{,}3026 \log\left(\frac{X-Y}{x_0-y_0}\right)=(n'-n)L=\left(\frac{k}{b}-0{,}4\right)mL.$$

DATES des ...ériences.	EAU THERMALE. VOLUME (a)	EAU THERMALE. TEMPÉRATURES à l'entrée. (x_0)	EAU THERMALE. TEMPÉRATURES à la sortie. (X)	EAU VOLUME (b)	EAU TEMPÉRATURES à l'entrée. (Y)	EAU TEMPÉRATURES à la sortie. observée.	EAU TEMPÉRATURES à la sortie. calculée. (y_0)	VALEUR de k	VALEUR de $\frac{k}{a}$	VALEUR de $\frac{k}{b}$	VALEUR de L	VALEUR de m
1880	litres.	degr	degr.	litres.	degr.	degrés.	degr.	m. car.			secondes.	
novembre	1,8480	63,00	26.00	5,1852	9,50	22 à 25	22,69	0,7392	0,400	0,1425	15 300	0,2267
—	1,9125	63,00	27,50	3,8655	9,25	26,50 à 27.50	26,81	0,7650	—	0,1979	14,784	0,2291
décembre	1,8768	63,00	25,25	7,0400	9,50	19.50 à 20.50	19,56	0.7507	—	0,1066	15,065	0,2294
—	1,6166	63.00	23,50	4.6282	9,50	22,50 à 23,50	23,30	0,6466	—	0,1397	17,490	0.2289
—	1,6916	63.25	24,50	4.4378	9.25	23,50 à 24,50	24.02	0,6766	—	0.1525	17.025	0,2242
—	1,6350	63,00	22,25	7.0166	9,25	18 à 18,25	18,75	0,6540	—	0.0932	17.293	0,2290
—	1,4950	63,00	21,25	5,8155	9,25	20 à 22	19,98	0,5980	—	0,1028	18.9127	0,2271
—	1,4361	63.00	20,00	7.5440	9.25	17,50 à 18,25	17,75	0,5744	—	0,0761	19,689	0,2254
—	1,4383	63.00	22.75	3,2605	9,25	27	27	0.5753	—	0,1764	19,658	0,2235
—	1,6350	63.00	29,50	1,7695	9,25	38 à 38.50	40,20	0,6540	—	0,3696	17,293	0,2253
—	1.6322	63.00	27,50	2.8016	9,25	29 à 30	29,93	0 6528	—	0,2330	17,322	0.2252
—	1,4950	63,00	25,37	2.3745	9.50	32,50 à 33,50	33,19	0,5980	—	0,2518	18,9127	0,2248
—	1.8683	63,00	43,12	0,7588	9.50	50,75	58 44	0,7473	—	0,9847	15,1337	0,2257
—	1,5083	63,00	38,00	0,7952	9,50	48,25	56,92	0,6033	—	0,7588	18,7455	0,2295
						Total.						3,1738
						Moyenne.						0,2267

Nous ferons une seule observation sur les résultats de ce tableau : c'est la différence notable qui existe entre les températures calculées et celles observées de l'eau douce à la sortie du réfrigérateur dès que la température de cette

eau est un peu élevée. Elle provient de la perte de chaleur de l'eau douce qui se fait dans l'auge même, où, dans ce cas, elle séjourne assez longtemps; ainsi, dans la seconde expérience du 23 décembre, l'eau douce n'a pas mis moins de quinze minutes pour parcourir l'auge dans toute sa longueur. Quand la quantité d'eau douce est considérable, elle s'échauffe moins longtemps, séjourne moins dans le réfrigérateur, et son refroidissement est peu sensible.

La conclusion à tirer de ces expériences est que m, pour un réfrigérateur avec des tubes de cuivre de 1 centimètre de diamètre et 1 millimètre d'épaisseur, est égal à environ 0,226, c'est-à-dire qu'il passe 0,226 calorie à travers les parois des tubes par seconde, par mètre carré de surface des tubes et par un degré de différence de température de l'eau baignant les deux parois des tubes. Pour des métaux autres que le cuivre, ce coefficient doit varier en raison directe de la conductibilité pour la chaleur; d'un autre côté, pour un même métal, il diminue à mesure que l'épaisseur augmente, dès que l'eau est suffisamment renouvelée sur les deux faces.

Dans les formules qui précèdent, en faisant $m = 0{,}226$, n devient égal à 0,0904 ; c'est ce chiffre qui caractérise l'énergie du réfrigérateur pour l'abaissement de tempéra-rature.

A Bourbonne, en moyenne, pendant les expériences il a passé par seconde $1^l{,}62$ d'eau thermale dans le réfrigérateur et l'on a employé $5^l{,}40$ d'eau douce, de sorte que $n' = 0{,}3\ n$, et l'eau thermale à la sortie du réfrigérateur avait la température de 23°,28, elle perdait donc environ 40°.

Maintenant que nous connaissons la valeur de m, on peut faire la comparaison des résultats qu'on obtient d'un côté avec les courants en sens inverse et de l'autre côté avec les courants dans le même sens.

Nous supposerons $a = 1^l,62$, alors $L = 17'',453$, $x_0 = 63°$ et $Y = 9°,50$.

VALEUR de n'.	COURANTS inverses.	COURANTS dans le même sens.	DIFFÉRENCES.
	degrés.	degrés.	degrés.
$n' = 10n$	57,65	58 14	0,49
$n' = 3n$	45,68	49,65	3,97
$n' = n$	30,25	37,39	7,14
$n' = 0,3n$	23,28	27,14	3,86
$n' = 0,1n$	21,44	22,94	1,50
$n' = 0$	20,54	20,54	0

On peut, d'ailleurs, se rendre encore mieux compte des variations de $X' - X$, en traçant les courbes qui représentent ces deux valeurs.

Toutes les deux ont comme asymptote, pour $n' = +\infty$, $y = x_0$; de plus elles se croisent pour $n' = 0$: en ce point $y = x_0 + (x_0 - Y)(e^{-nL} - 1)$. Pour toutes les valeurs de n' depuis o jusqu'à $+\infty$ la courbe des X' est concave vers l'axe des n'; à partir de $n' = 0$ la courbe des X est convexe au contraire; pour $n' = n$ elle a un point d'inflexion et devient également concave, en restant toujours au-dessous de la courbe des X' jusqu'à $n' = +\infty$.

Pour avoir la valeur maximum de la différence des ordonnées des deux courbes, il faudrait égaler à o la dérivée de $X' - X$, mais on arrive à une équation de laquelle il est impossible de tirer algébriquement la valeur de n' relative à ce maximum.

D'un autre côté ce maximum varie avec nL ou avec a, puisque nous supposons constante la longueur en mètres du réfrigérateur; il augmente à mesure que a diminue et a pour maximum absolu $\frac{x_0 - Y}{2}$.

La valeur de n' relative au maximum oscille autour de l'abscisse n ; elle est égale à n pour $a = 1$, plus grande que n pour $a > 1$ et plus petite que n pour $a < 1$; pour-

tant elle ne s'écarte pas indéfiniment de n à mesure que a croît ou décroît à partir de 1. Il y a un maximum d'écart tant pour les valeurs plus grandes que pour celles plus petites que 1, et si a croît ou décroît à partir des valeurs correspondant à ces deux maximum, n' revient vers n.

Dans l'exemple que nous avons choisi le maximum a lieu pour $n' = 1,20\ n$ environ, lui-même est égal à $7°,20$; comme a est égal à $1^{l},62$; on trouve pour $b = 1^{l},35$.

Ainsi, quand il passe $1^{l},62$ d'eau chaude dans le réfrigérateur par seconde, on obtient le maximum de différence de température à la sortie du réfrigérateur, avec les courants de l'eau douce dans le même sens, et, en sens inverse, en faisant passer $1^{l},35$ d'eau douce par seconde, bien entendu les températures initiales des deux eaux étant 63° et 9°,50.

Pour $a = 1$ la différence maximum est 11°,97 avec $n' = n$ ou $b = 1$ litre. Pour $a = 0,50$ elle est de 19°,22 avec $n' = 0,8\,n$ environ ou $b = 0^{l},625$.

Enfin, à mesure que a diminue, elle tend vers 26°,75, et elle s'approche de 0 à mesure que a augmente.

Du côté des n' négatifs la courbe X a pour asymptote la droite $y = +\ Y$, tandis que celle de X' se dirige vers les ordonnées négatives infinies.

Nous dirons tout à l'heure ce que représentent ces courbes du côté des abscisses négatives.

La réfrigération par courants en sens inverses est donc toujours préférable, surtout pour des valeurs de n' ne s'écartant pas beaucoup de celle de n, c'est-à-dire quand les quantités d'eau chaude et d'eau de réfrigération ne diffèrent pas beaucoup entre elles. Du reste, on peut toujours obtenir le même refroidissement avec les deux systèmes de courants; seulement pour cela il faut donner à n' pour le courant direct une valeur plus petite que pour le courant inverse, c'est-à-dire qu'il faut pour le premier plus d'eau froide que pour le second.

Pour avoir ces deux valeurs de n' pour un refroidissement

donné, on pourrait les tirer des équations donnant X et X′; mais il sera plus commode de construire les deux courbes dont nous venons de parler, de mener par la température voulue une parallèle à l'axe des *n′*, et d'abaisser, des points d'intersection avec les deux courbes, des perpendiculaires sur cet axe : les pieds de ces perpendiculaires donneront les deux valeurs de *n′*.

A Bourbonne, pendant les sept ou huit mois de la saison d'hiver, on prend généralement les bains et les douches à une température plus élevée que pendant la saison thermale, et il faut admettre une température moyenne de 35 à 36°. Durant cette saison d'hiver on fait fonctionner tous les matins pendant une heure à une heure et demie la pompe Greindl pendant le temps même qu'on donne des bains et des douches.

A Bourbonne les dimensions des principaux organes de distribution ont été calculées dans l'hypothèse qu'on consommerait 2 d'eau refroidie pour 1 d'eau chaude; c'est pour le même motif que nous avons donné au réservoir d'eau refroidie une section horizontale double de celle du réservoir d'eau chaude. De cette façon les niveaux de l'eau dans les deux réservoirs restent les mêmes tant que les consommations se font dans les proportions indiquées et qu'on n'élève pas d'eau ou qu'on en élève dans la même proportion.

Cette égalité de niveau est essentielle, principalement pour les douches; autrement la température du jet varie continuellement avec la différence des niveaux, et quand celle-ci devient notable il y a même échange d'eau entre les deux réservoirs, et la douche ne donne plus que de l'eau chaude ou de l'eau refroidie. L'année dernière, pendant la saison thermale, cet effet s'est fait sentir plus d'une fois sur les grands réservoirs du coteau, aussi a-t-on été obligé d'abaisser de 1 mètre le trop-plein du réservoir d'eau chaude, afin de rétablir autant que possible l'égalité

de niveau de l'eau dans ce dernier et ceux d'eau refroidie.

Si la consommation était régulière, permanente, on pourrait toujours maintenir l'égalité de niveau dans les deux réservoirs, quelle que soit la proportion entre l'eau chaude et l'eau refroidie : il suffirait d'élever les deux espèces d'eau dans une proportion indiquée.

Si par seconde on consomme a mètres cubes d'eau chaude et Ka mètres cubes d'eau refroidie, et qu'on élève pendant le même temps ma d'eau chaude, pour que l'égalité de niveau se maintienne, il suffit d'élever $K'a$ d'eau refroidie, en faisant $K' = K - 2 + 2m$. Suivant que m est plus grand ou plus petit que 1, les niveaux s'élèvent ou s'abaissent dans les deux réservoirs, mais en restant toujours dans un même plan horizontal. Mais si cette consommation vient à cesser pour un certain temps, ce qui arrive toujours, et qu'on continue à élever les deux eaux dans les proportions indiquées, l'égalité des niveaux ne se maintient plus dans les deux réservoirs ; pour la conserver il faudrait alors, pendant ces arrêts, élever 1 d'eau chaude pour 2 d'eau refroidie, dans le rapport des sections des réservoirs. Ces changements continuels dans les proportions élevées sont impossibles en pratique, et pour que K' soit toujours égal à $2m$ il faut que K soit égal à 2, c'est-à-dire que la consommation ainsi que l'élévation des deux eaux soient dans le rapport de 2 à 1.

L'eau minérale chaude arrive dans les cabinets de bains ou de douches à la température de 59° en moyenne ; pour avoir la température du mélange à 35°,50 avec 1 d'eau chaude et 2 d'eau refroidie, il faut donc que cette dernière y arrive à la température de 23°,75. L'eau refroidie dans son parcours depuis la sortie du réfrigérateur jusque dans les cabinets ne perd en moyenne qu'un demi-degré ; il faut donc que cette eau, à la sortie du réfrigérateur, ait 24°,25. La pompe Greindl élève, comme nous l'avons dit, 1l,62 par seconde, dont les deux tiers, soit 1l,08, doivent

passer par le réfrigérateur. Dans ce cas L = 26″,18, et faisant $x_0 = 63°$ et Y = 9°,50, on trouve que, pour refroidir l'eau à 24°,25, il suffit de 1ˡ,162 d'eau douce par seconde, qui à la sortie du réfrigérateur aura une température de plus de 45°. Pour une marche d'une heure et demie il faudra donc un peu plus de 6 mètres cubes d'eau, quantité qu'on trouvera toujours disponible dans le réservoir d'eau douce. Il en résulte de plus qu'on ne pourrait pas obtenir le refroidissement voulu en employant directement le débit de la source de Montlétang qui, même à son maximum, ne donne jamais un litre par seconde.

Ce mode d'alimentation des réservoirs devient indispensable dès qu'on donne un certain nombre de douches par jour; mais pendant les trois mois d'hiver, de décembre à février, on ne prend guère que des bains, et pour ceux-ci il est inutile que l'eau soit au même niveau dans les deux réservoirs, vu qu'on amène successivement l'eau chaude et l'eau refroidie dans la baignoire. Aussi, pendant ces mois, on se contente d'élever l'eau chaude et l'eau refroidie l'une après l'autre, et pour la réfrigération on rentre alors dans les conditions des expériences, où, en moyenne, il passe 1ˡ,62 par le réfrigérateur, et l'on fait passer environ 3ˡ,80 d'eau douce par le réfrigérateur pour arriver, pour l'eau refroidie, à 24°,25; ce qui demande environ 14 mètres cubes d'eau douce pour une marche d'une heure. Avec les courants dans le même sens il faudrait environ 35 à 36 mètres cubes, ou 9ˡ,80 par seconde, quantité que, la plupart du temps, on ne trouverait peut-être pas dans le réservoir, sans compter que les diamètres des tuyaux d'amenée sont insuffisants pour un pareil débit. La disposition des courants en sens inverse était donc indispensable.

Il arrive assez souvent, pendant les froids, qu'on ne consomme pas dans la journée l'eau élevée; alors, le lendemain on vide complètement le réservoir d'eau chaude, qu'on remplit de nouveau, et l'on réchauffe l'eau qui est restée

dans celui d'eau refroidie avec de l'eau minérale chaude qu'on fait passer par le réfrigérateur, mais sans amener alors de l'eau douce dans l'auge ou en y en amenant très peu suivant les besoins.

Nous joignons à cette note (V. Pl. I, *fig.* 1) un croquis de l'installation du service d'hiver, ainsi qu'une épure donnant les températures de sortie de l'eau minérale et de l'eau douce (Pl. I, *fig.* 2).

Dans les formules précédentes nous avons pris pour variable n', c'est-à-dire une valeur inverse à la quantité d'eau douce, en supposant a constant; il est préférable d'introduire cette quantité elle-même dans les formules, de la prendre pour abscisse, les ordonnées représentant alors les températures. Les courbes qu'on obtient avec ce changement de variable ne sont qu'une transformation de celles dont nous avons parlé précédemment. Il faut supposer que ces courbes, tant du côté des abscisses positives que de celles négatives, ont fait une demi-révolution autour des ordonnées correspondant aux abscisses $n' = n$ et $n' = -n$. Dans ce mouvement, les branches qui se dirigeaient vers les infinis négatifs et positifs viennent aboutir à l'axe des y où elles ont conservé les mêmes ordonnées qu'elles avaient aux points situés à l'infini; seulement ces courbes sont refoulées sur elles-mêmes; d'un autre côté, les branches qui venaient aboutir à l'axe des y se dirigent maintenant vers les infinis positifs et négatifs, et elles sont étirées, allongées.

Dans cette évolution, les points d'inflexion qui existaient sur certaines branches ont disparu et sont devenus des points multiples, tandis que sur d'autres branches les points multiples sont devenus des points d'inflexion.

En désignant par x la quantité d'eau douce passant par seconde dans le réfrigérateur, on a $n' = \frac{km}{x} = \frac{an}{x}$; d'un autre côté L est égal à une quantité, constante pour un

même réfrigérateur, divisée par a ; ici cette quantité constante est égale à 28,2744 ; comme n est constant aussi et égal à 0,0904, désignons $n \times 28,2744$ ou 2,556 par θ, c'est ce que l'on peut appeler le module du réfrigérateur.

Avec la nouvelle variable on a les équations

$$X = x_0 + \frac{x\,(x_0 - Y)\left[e^{\theta\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right)} - 1\right]}{x - a e^{\theta\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right)}}$$

$$X' = x_0 + \frac{x\,(x_0 - Y)\left[e^{-\theta\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{a}\right)} - 1\right]}{x + a}$$

et

$$Z = Y + \frac{a\,(x_0 - Y)\left[1 - e^{\theta\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right)}\right]}{x - a e^{\theta\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right)}},$$

en appelant Z la température de sortie de l'eau douce avec les courants en sens inverse. D'ailleurs cette dernière formule n'est pas bien nécessaire pour le tracé de la courbe, vu que toujours

$$(x_0 - X)\,a = (Z - Y)\,x.$$

Dans le tracé des courbes nous supposons $x_0 = 63°$ et $Y° = 9°,50$; ce sont les températures qui restent, à peu de chose près, toujours les mêmes pendant le service d'hiver à Bourbonne.

Les abscisses représentent les quantités d'eau douce à l'échelle de 10 millimètres pour un litre, les ordonnées les températures à raison de $0^{mm},80$ par degré centigrade.

L'épure (Pl. I, *fig.* 2) comprend :

1° La courbe des X pour $a = 1^l,62$, tracée en trait fort continu ;

2° La courbe des X pour $a = 1^l,08$ en trait fin continu ;

3° La courbe des Z en trait fin discontinu pour $a = 1^l,62$;

4° La courbe des X′ en trait fort discontinu pour $a = 1^l,62$.

Nous avons choisi les deux seules valeurs de a qui soient en usage à Bourbonne, de sorte que l'épure peut servir à régler la quantité d'eau douce pour telle ou telle température de sortie de l'eau minérale.

En prenant n' pour variable on avait des courbes continues, tandis que, avec x pour variable, on a des courbes discontinues, car pour chacune d'elles l'ordonnée a deux valeurs différentes, suivant qu'on fait $x = +0$ ou $= -0$. Du côté des abscisses positives toutes les courbes aboutissent à l'axe des y au point $y = 63$; du côté des abscisses négatives pour $x = -0$, X est égal à Y, tandis que X′ et Z deviennent égaux à l'infini négatif. Au point $x = +0$, la tangente de l'angle de la tangente est égale à $-\frac{(x_0 - Y)}{a}$ pour X et X′, et nulle pour Z ; pour $x = -0$, cette tangente est égale à 0 pour X et à $-\infty$ pour X′ et Z. Pour $x = +\infty$ ou $-\infty$, X et X′ ont pour asymptote $y = x_0 + (x_0 - Y)\left(e^{-\frac{\theta}{a}} - 1\right)$ et Z a celle de $y = Y$.

La comparaison des courbes X et X′ fait bien ressortir la valeur de X′ — X, qui est à son maximum pour l'abscisse $= 13,5$ millimètres ou $x = 1^l,35$.

De l'examen de la courbe X il résulte aussi qu'il n'y a plus grand avantage à dépasser pour la quantité d'eau douce trois ou quatre fois celle d'eau minérale dans le but d'obtenir un plus grand refroidissement ; ainsi pour $x = 4a$ la température de l'eau minérale descend à 22°,81, et en augmentant indéfiniment la quantité d'eau douce elle s'abaisserait tout au plus à 20°,54.

Les courbes du côté des abscisses négatives ont également leur signification, en admettant toutefois que l'eau se maintienne liquide au-dessous de 0 degré et conserve la même capacité calorifique. Il suffit d'introduire la modification que les courbes qui, du côté des abscisses positives,

sont relatives à des courants en sens inverse, représentent, du côté des abscisses négatives, des courants dans le même sens, et inversement.

Ainsi, pour l'abscisse = — 1',62, la courbe X donne, pour y, 13°,88, et la courbe Z, — 39°,62 ; cela veut dire que l'eau minérale entrant à 63° sort à 13°,88, tandis que, dans le même sens, entre une quantité d'eau douce également de 1',62 à la température de — 39°,62 et elle sort à + 9°,50.

Comme les deux quantités d'eau sont égales, on a en effet :

$$63 - 13,88 = 9,50 + 39,62.$$

Pour l'abscisse = — 3',24, on a également

$$63 - 16,70 = 2\,(9,50 + 13,65).$$

La formule de la valeur de X' pour les courants dans le même sens donne d'ailleurs ces mêmes températures, mais en y introduisant la condition que ce n'est plus en entrant dans le réfrigérateur que l'eau douce doit avoir 9°,50, mais bien en sortant de celui-ci; car pour tous les points de la courbe noire pleine, soit du côté des abscisses négatives, soit du côté de celles positives, la formule qui a servi à l'établir admet que la température de l'eau douce au point de sortie de l'eau minérale est de Y ou 9°,50.

En effet, en introduisant dans la valeur de x' et puis dans celle de X' la condition que ce n'est plus en entrant dans le réfrigérateur, mais bien en en sortant, que l'eau douce a la température de Y, on a pour X' la valeur

$$X' = x_0 + \frac{x\,(x_0 - Y)\left[e^{-\theta\left(\frac{1}{x}+\frac{1}{a}\right)} - 1\right]}{x + ae^{-\left(\frac{1}{x}+\frac{1}{a}\right)}},$$

qui est la même que celle de X en changeant x en $-x$; c'est-à-dire que la courbe X, qui, pour des abscisses posi-

tives, s'applique au refroidissement par courants en sens inverse, représente pour les abscisses négatives un refroidissement avec courants dans le même sens, avec cette condition que la température de l'eau douce, du côté où sort l'eau minérale refroidie, sera la même dans les deux cas, soit Y.

De même, X' qui, pour les abscisses positives, représente le refroidissement avec courants dans le même sens, s'applique pour les abscisses négatives au refroidissement avec courants en sens inverse, avec la condition que la température de l'eau douce sera dans les deux cas Y, au point où l'eau minérale entre dans le réfrigérateur.

Chaumont, le 12 avril 1881.

NOTE

SUR

LES EXPÉRIENCES ENTREPRISES PAR M. LE PROFESSEUR ABEL POUR ÉTUDIER LE ROLE DES POUSSIÈRES DANS LES EXPLOSIONS DE MINES

Par M. L. AGUILLON, ingénieur des mines.

Le 8 septembre 1880, à 2h 20 du matin, une explosion s'est produite dans la houillère de Seaham, du bassin du Durham sud, à la suite de laquelle 164 ouvriers ont péri. Survenu dans une houillère qui passait pour l'une des mieux exploitées et des mieux ventilées dans ce bassin du nord de l'Angleterre, réputé, de l'autre côté de la Manche, comme pouvant servir de modèle à tous les autres, dans lequel, en tout cas, des catastrophes pareilles n'étaient plus connues depuis longtemps et où des accidents considérables étaient même devenus relativement fort rares (*), cet accident a jeté une vive émotion en Angleterre, d'autant plus qu'il s'est produit dans des circonstances dont une enquête minutieuse et approfondie n'a pas pu arriver à dégager une cause indiscutable et indiscutée qui pût l'expliquer. Cet accident mérite à tous égards d'être étudié attentivement; mais, en attendant, pour le faire connaître, d'avoir les plans absolument nécessaires à une étude complète des faits (**), il nous a paru utile de reproduire un travail sur l'influence des poussières charbonneuses, que M. le professeur Abel, le savant chimiste de Woolwich, vient d'être appelé à faire à cette occasion.

Au cours de l'enquête qui s'est poursuivie devant le *coroner*, la question s'est, en effet, posée de savoir si l'accident n'était pas dû, en tout ou en partie, aux poussières charbonneuses. Sous le

(*) Le dernier accident grave de ce bassin, dans lequel vingt-six ouvriers avaient péri, était arrivé le 25 octobre 1871 à cette même mine de Seaham.

(**) Cette étude détaillée paraîtra dans la prochaine livraison des *Annales*.

mouvement de l'opinion publique, le professeur Abel fut désigné par le gouvernement pour étudier cette question spéciale. Le rapport qu'il vient de fournir, à la date du 23 mars 1881, peu concluant en ce qui concerne spécialement et directement l'accident du 8 septembre, contient au contraire une nouvelle étude générale de la question des poussières, étude qui prend d'autant plus d'intérêt qu'elle émane d'une haute autorité scientifique.

Aussi bien, cette question des poussières semble prendre en ce moment en Angleterre une importance plus grande que jamais. A l'occasion de la catastrophe survenue à Penygraig, le 10 décembre 1880, dans le sud du pays de Galles, où 101 ouvriers ont péri, M. W. Galloway, qui a été appelé à étudier cet accident de très près dès la première heure, ayant été la première personne qui ait pénétré dans la mine et ayant été chargé d'organiser et de suivre les travaux de sauvetage, a fait dans l'enquête du *coroner* une déposition longuement et soigneusement motivée d'où il résulterait que la catastrophe de Penygraig ne serait qu'un accident de poussières (*).

C'est cette sorte d'*agitation* qui se fait à nouveau, et, en tout cas, l'intérêt qui s'attache à cette question, toujours si discutée, des poussières qui nous ont fait penser qu'il serait utile de faire connaître immédiatement le travail du professeur Abel, tout spécial qu'ait été le but pour lequel il a été entrepris. Au lieu de l'analyser, nous avons préféré en donner la traduction complète, en nous abstenant d'ailleurs, pour le moment du moins, de présenter les observations qu'il suggère, notamment dans l'application des théories du professeur Abel à l'accident de Seaham. Cette discussion ne pourrait trouver utilement sa place qu'après l'examen complet de toutes les circonstances de cet accident.

Le travail du professeur Abel est partagé en trois parties.

Il a d'abord fait un examen chimique et microscopique de treize échantillons recueillis, en plus ou moins grande quantité, en différents points particuliers de la houillère, examen qui l'a amené à se prononcer sur diverses questions que l'enquête avait conduit à lui poser sur l'influence que les poussières avaient pu jouer dans l'explosion de Seaham. Ces échantillons avaient été no-

(*) M. William Galloway a bien voulu nous faire connaître qu'il prépare un nouveau mémoire qu'il doit présenter incessamment à la Société royale et où il reprendra, avec plans, analyses et autres documents à l'appui, le développement de l'opinion qu'il a soutenue devant le *Coroner*. En attendant ce travail, la prochaine livraison des *Annales* contiendra une étude détaillée de l'accident de Penygraig.

tamment choisis dans les points où l'on pensait trouver des poussières portant encore ou pouvant porter les traces d'une action de la chaleur, et c'était spécialement sur cette question que le professeur Abel devait se prononcer.

Dans la deuxième partie, le professeur rend compte des expériences comparatives, faites en grand, d'une part, avec des échantillons plus considérables de poussières recueillis à Seaham dans dix des points où avaient été pris les échantillons précédents, et, d'autre part, avec des échantillons provenant d'autres mines anglaises où ont eu lieu récemment de graves accidents. Ces expériences, faites sur les poussières desséchées et criblées de façon à en séparer les plus gros morceaux, ont été entreprises dans le but de déterminer quelles étaient la proportion de grisou nécessaire, et les circonstances les plus convenables pour rendre explosible au contact de flammes diverses un courant dans lequel on mettait en suspension des poussières de caractères physiques et chimiques déterminés.

Enfin, dans la troisième partie, le savant professeur rend compte des expériences qu'il a faites pour étudier les conditions d'inflammabilité des mêmes poussières en l'absence de toute trace de grisou.

Les deux dernières parties de ce rapport constituent donc une nouvelle étude générale de la question des poussières ; la première se rapporte plus spécialement à l'accident de Seaham.

Les échantillons des poussières de Seaham étudiés par le professeur Abel avaient été recueillis les 15 et 16 novembre, par M. Thomas Bell, inspecteur des mines du gouvernement pour le district du Durham (*), dans des points de la mine qui présentaient un intérêt spécial pour l'accident du 8 septembre, et qui sont désignés dans le tableau suivant (**).

(*) C'est M. Thomas Bell qui a bien voulu nous communiquer le rapport du professeur Abel ainsi que plusieurs autres documents sur l'accident de Seaham : il nous permettra de lui marquer ici tous nos remerciements pour son obligeance inépuisable.

(**) Les lettres de ce tableau qui indiquent les points où les échantillons ont été recueillis se trouveront sur les plans que donnera la prochaine livraison.

Numéros des échantillons.	POINT de la mine où les poussières ont été recueillies.	ÉTENDUE de la place où elles ont été recueillies.	VOLUME d'air en mètres cubes par seconde.	TEMPÉRATURE le 17 novembre.	DISTANCE du puits d'entrée d'air.
		m. q.	m. q.	C.	mètres.
X	Poussières provenant des cribles à la surface.	»	»	»	»
K	Poussières du sol du travers-bancs courbe.	5,84	31,5	8°	138
L	Poussières sur les bois du travers-bancs courbe	5,84	31,5	8°	184
M	Poussières du voisinage de la machine de Maudlin	9,00	27,7	8,3	297
N	Poussières du district n° 3, couche Hutton, voie Sud	5,57	6,3	19	819
O	Poussières du vieux plan incliné.	5,57	6,1	13	697
P	Poussières du vieux plan incliné recueillies sur le boisage. . . .	5,57	6,1	13	900
Q	Poussières sur le muraillement du côté du retour des portes de la galerie Polka	3,89	0,3	14	752
R	Poussières sur le côté du plan de la machine du district n° 1 au long tournant.	6,03	11,8	13	854
S	Poussières sur les montants et le muraillement du long tournant.	6,03	11,8	13	898
T	Poussières du sol de la galerie de circulation du district n° 1.	5,84	11,8	14	630
U	Poussières du sol du travers-bancs, 3e voie est, district n° 1	6,50	10,8	16,5	1.763
V	Poussières prises à trois piliers au delà du travers-bancs, 3e voie, district n° 1	6,03	9,4	19,5	2.052

Il est inutile pour suivre utilement le rapport du professeur Abel, d'entrer ici dans toute explication sur les points de la mine désignés dans le tableau précédent, et sur l'intérêt qu'ils présentent au point de vue de la recherche des causes probables de l'accident. Nous nous bornerons à dire, avant de passer à la traduction du rapport, que les trois échantillons ne figurant pas dans la série de ceux soumis aux grandes expériences comparatives, sont les échantillons L, P et Q.

L. A.

RAPPORT DE M. LE PROFESSEUR ABEL

I

Les treize échantillons de poussières, après avoir été desséchés à 38° C., ont été passés au crible d'un demi-millimètre pour les débarrasser des parties les plus grosses qui, dans certains cas, existaient en très grande proportion.

Le tableau n° I donne le résultat de l'examen fait sur la partie criblée de ces treize échantillons.

Ce tableau montre des différences considérables dans la proportion de poussière de charbon contenue dans les différents échantillons. L'échantillon X, recueilli aux cribles, est formé presque entièrement par du charbon : on a pris, par conséquent, sa composition comme représentant approximativement la vraie poussière de charbon fournie par la mine, hypothèse qui, toute grossière qu'elle soit, est suffisamment exacte pour des comparaisons pratiques, et l'on en a déduit, comme le montre le tableau, la proportion de poussière de charbon contenue dans les autres poussières criblées.

Cette comparaison montre que cette proportion varie de 96 à 54 p. 100 sur la poussière criblée, séchée à 38° C.

Les échantillons K et L, recueillis au travers-bancs courbe près des puits n° 1 et 2, consistent principalement en poussière de charbon; ceux pris : 1° sur les montants et le muraillement des parois du plan incliné de la machine du district n° 1 (S) ; 2° au delà de l'extrémité du travers-bancs du district n° 1, troisième galerie Est (V); et 3° au voisinage de la machine de Maudlin (M) contenaient aussi de très fortes proportions de charbon. Au contraire, l'échantillon du district Hutton n° 3, quartier Sud (N), ne contenait pas beaucoup plus de la moitié de son poids de charbon. Cet échantillon présente un intérêt spécial, comme

TA

Numéros des échantillons	POINT où ils ont été recueillis.	Résidu fixe (cendres comprises).	Cendres.	Matières volatiles (eau comprise.)	Eau après dessiccation à 149° C.	Matières volatiles (eau déduite.)	Matières volatiles au charbon
1	2	3	4	5	6	7	8
+K	Sol du travers-bancs courbe.	78,89	14,96	21.61	2,65	18,96	2
L*	Travers-bancs courbe, poussière grattée sur les garnitures de bois près du toit, sur lesquelles elle était déposée avec plus de 25 millimètres d'épaisseur.	79,24	12,00	20.76	3,07	17,69	2
+M	Voisinage de la machine de Maudlin, poussières supposées attaquées par l'explosion.	79,55	25,31	20.45	5,28	15,17	2
+N	Hutton n° 3, quartier du sud.	85,50	55,41	14,50	1,81	12,69	3
+O	Sol de l'ancien plan incliné.	82.21	37,43	17,79	3,63	14,16	2
P*	Sol de l'ancien plan incliné, en majeure partie grattées sur des boisages renversés par l'explosion, le reste sur les pierres du muraillement.	86,86	42,50	13,14	3,67	9,47	1
Q*	Grattées sur les pierres du muraillement, etc., côté du retour d'air des portes de la galerie Polka.	89,15	34,22	10,85	3,67	7,18	1
+R	Côté du plan de la machine du district n° 1 au long tournant.	81,27	37,36	18,73	4,21	14,52	2
+S	Id. Sur les montants et les pierres.	80,16	24,13	19,84	2,64	17,20	2
+T	Sol de la galerie de circulation du district n° 1.	79,40	36,44	20,60	4,10	16,50	2
+U	Sol du travers-bancs, district n° 1, troisième galerie est.	80,60	40,92	19,40	2,91	16,49	2
+V	Sol, trois piliers au delà de l'extrémité du travers-bancs, troisième galerie est, district n° 1.	76,55	24,87	23,45	3,21	20,24	2
+X	Cribles n°s 1 et 2, probablement accumulées lentement et depuis longtemps.	79,72	10,25	20,28	1,00	19,28	2

OBSERVATIONS. — Les dix échantillons (marqués d'un +) envoyés de Seaham à Brynn po expériences en grand étaient tous plus ou moins humides, et comme on ne disposait pas à la lère de moyens pour les dessécher convenablement sans l'application d'une chaleur excessi furent envoyés à Woolwich où ils furent soigneusement desséchés dans une étuve à séch

(*) La colonne 8 ne figure pas dans le mémoire; elle a été ajoutée par le traducteur.

cendres et 1 p. 100 eau).	Couleur des échantillons classée du noir au gris.	Proportion de poussière passée au tamis d'un tiers de millimètre après passage au tamis d'un demi-millimètre.	EXAMEN au microscope.
	10	11	12
	2	98,8	Particules de charbon brillantes et à arêtes vives, de dimensions différentes, peu d'impuretés.
	2	100	Particules de dimensions uniformes, mais plus petites que K, toutes brillantes et à arêtes vives; très peu d'impuretés.
	2	84,3	Grosses particules de charbon à arêtes vives mêlées à des fragments de stériles.
	8 gris clair	81,4	Très peu de larges particules de poussières de charbon ; petite proportion de particules fines dont quelques-unes semblent avoir été affectées par la chaleur ; composées en partie de sable fin et autres impuretés.
	4	85,7	Quelques stériles de grosse dimension et quelques gros morceaux de charbon le plus souvent couverts de poussière grise ; la plus grande partie consiste en fines particules brillantes ; quelques-uns des plus gros morceaux semblent avoir été cokifiés.
	3	92,5	Fines et de dimensions beaucoup plus uniformes que O ; quelques grosses parties de stériles. Quelques particules de charbon avaient été affectées par la chaleur.
	3	100	Particules très rassemblées; moins brillantes que les autres échantillons ; poussière fine attachée probablement sur elles ; beaucoup de ces particules ont été atteintes par la chaleur.
	7 gris brun	71,3	Très grande proportion de gros morceaux de stériles ; peu de particules de poussières de charbon et beaucoup de coke.
	3	94,7	Assez grand nombre de gros morceaux de stériles; une proportion comparativement forte de fine poussière de charbon dont une partie affectée par la chaleur.
	7 gris brun	77,9	Tous gros morceaux de charbon, de coke et de stériles; point de poussière fine
	6	80,9	Parties grossières de charbon et stériles avec sable fin et parties de poussière de coke adhérentes. Grande variation de dimension
	5	85,6	Particules grossières, principalement de charbon. Faible proportion de fin ; quelques morceaux de paille et de bois.
	1 noir	100	Poussière de charbon fine et très uniforme ; on ne voit aucune trace d'impuretés.

a fonderie de boulets de l'arsenal et criblés pour en séparer les parties grossières ; les criblés furent emballés de façon à éviter tout excès d'humidité et retournés à Brynn périences.

on le verra plus loin, en ce qui concerne la question de l'influence de la poussière pour déterminer et aggraver les explosions dans les houillères.

L'examen microscopique des échantillons, tels qu'ils ont été reçus, a surtout porté sur la recherche des particules de charbon qui ont été affectées par la chaleur. On n'en a trouvé aucune dans les échantillons K et L (pris dans le travers-bancs courbe) M, près de la machine de Maudlin), V, recueilli au delà de l'extrémité du travers-bancs, dans le quartier Est du district n° 3 et X provenant des cribles. Quelques parties de l'échantillon N (district n° 3, couche Hutton) paraissaient porter des traces — d'une apparence un peu douteuse — de l'action de la chaleur : il en était de même dans l'échantillon O recueilli sur le sol du vieux plan incliné. Quelques particules de l'échantillon P du même point (recueilli sur le boisage et le muraillement) donnaient des indications plus nettes d'une exposition à haute température. Les cinq autres échantillons contenaient tous des parties de poussières cokifiées, en faible proportion relativement dans les échantillons U (sol du travers-bancs n° 1, 3e galerie Est) et S (boisage et muraillement des parois du plan de la machine du district n° 1) ; en proportion considérable, au contraire, dans les échantillons : R provenant du même point, Q (muraillement du retour d'air aux portes de la galerie Polka) et T (sol de la galerie de circulation du district n° 1).

. . . .

Les échantillons Q et R sont les seuls qui pourraient être qualifiés de *poussière brûlée*, bien qu'ils contiennent respectivement encore 7 et 14,5 p. 100 de matières volatiles (*) (non compris 3,6 et 4,2 p. 100 d'eau restant

(*) Si l'on rapporte les rendements au charbon supposé pur, il semblerait qu'il n'y ait que l'échantillon Q qui puisse être réellement considéré comme de la poussière en partie *brûlée* et après lui l'échantillon P (*Note du traducteur*).

après dessiccation à 38° C), et par suite ils contiennent une partie de poussière non brûlée.

D'où il résulte que la partie supérieure de ces échantillons, dans la position où les amas se trouvaient quand les échantillons ont été recueillis, a été attaquée par la chaleur de l'explosion, la partie au-dessous restant inattaquée; ou bien la portion de poussière suspendue dans l'air au moment de l'explosion et brûlée partiellement en prenant part au développement et à la propagation de la flamme, ou, en tout cas, exposée à la chaleur de l'explosion, aura été déposée après l'explosion sur le sommet des amas de poussière non brûlée. Dans les deux cas, la poussière brûlée peut avoir été mêlée, par mégarde, en recueillant les échantillons, avec une proportion plus ou moins grande de poussière non brûlée, sur laquelle elle aurait été déposée ou produite à l'état de mince pellicule (*).

L'examen chimique et microscopique des poussières recueillies à la houillère de Seaham en novembre dernier ne fournit, en somme, aucunes données pour amener à conclure jusqu'à quel point les poussières ont joué un rôle dans la production, l'augmentation et la transmission de l'explosion.

D'autre part, cet examen a servi à montrer que :

a) Les échantillons de poussières recueillies dans différentes parties de la houillère diffèrent considérablement en ce qui concerne la proportion de poussière de charbon et d'autres matières qu'elles contiennent, aussi bien que dans leur état mécanique;

b) Après l'explosion, il existait de la poussière cokifiée

(*) Il serait peut-être permis de trouver que dans ce passage, si important au point de vue de ses conséquences, le savant professeur procède plus par affirmations et hypothèses que par déductions et résultats d'expériences; mais il ne faut pas non plus perdre de vue que les échantillons n'ont été recueillis que deux mois et demi après l'accident (*Note du traducteur*).

ou partiellement brûlée, quoique apparemment en faible proportion, à différents points très distincts les uns des autres et dans différentes directions, comme dans les échantillons : U près de l'extrémité du travers-bancs du district n° 1, P du vieux plan incliné, R de la voie Sud de la couche Hutton et S de la galerie de circulation du district n° 1 ;

c) Les échantillons de poussière K, L et M, recueillis dans le travers-bancs courbe et près de la machine Maudlin, c'est-à-dire en des points choisis suivant les indications de l'enquête, au voisinage immédiat de l'endroit où un coup de mine a été tiré au moment de l'explosion, ne donnent aucune preuve qu'ils aient été soumis à l'action d'une haute température.

II

Faraday et Lyell, en 1845, paraissent avoir été les premiers à attirer l'attention sur l'influence que les dépôts de poussières dans les mines peuvent avoir pour augmenter les effets des explosions de grisou : quelques expériences ont été faites en France, en 1867, par M. Verpilleux, qui arriva à cette conclusion que les poussières jouaient un rôle important dans les explosions. Le sujet fut en 1875 l'objet d'un nouvel examen plus attentif et d'expériences sur une petite échelle de la part de M. Vital, à l'occasion d'une enquête sur la nature et la cause d'une explosion qui était arrivée l'année précédente à Campagnac, dans un quartier de la mine où l'on n'avait jamais vu de grisou. Dans l'espèce un maître-mineur avait examiné le chantier avec une lampe Mueseler avant le tirage du coup de mine. Un premier coup tiré, on en chargea un second; la mèche allumée, les ouvriers s'étaient retirés, lorsque, après quelques secondes, une violente explosion survint, et les ouvriers virent une *grande flamme rouge* s'avancer sur eux. Après avoir exa-

miné la nature de la poussière recueillie dans la mine et fait quelques expériences spéciales sur une petite échelle dans le but de déterminer si et dans quelle limite la flamme de poudre était allongée lorsqu'elle était projetée, comme celle d'un coup qui débourre dans de l'air contenant de la poussière fine en suspension, M. Vital conclut que de la poussière très fine, très riche en matières volatiles (inflammables), peut s'allumer lorsqu'elle est soulevée par une explosion et qu'une portion du charbon est successivement décomposée, dégageant des substances formant des mélanges explosifs avec l'air, ce qui peut produire une propagation de la flamme; l'intensité ou la violence de la combustion étant très influencées par les caractères physiques (ténuité, etc.) de la poussière. Il montra également qu'une explosion de grisou, qui a lieu presque instantanément, enflamme ou décompose une petite quantité de la poussière soulevée par ladite explosion, et que de la sorte les effets des explosions continuent et se propagent lorsque ceux de l'explosion directe du grisou ont cessé.

Peu après les recherches de M. Vital, M. W. Galloway commença une série d'importantes expériences sur une plus grande échelle, dans le but d'étudier l'influence des poussières dans les explosions : les résultats en furent communiqués à la Société royale dans deux mémoires, en 1876 et 1879. Les conclusions de M. Galloway, dans son premier mémoire, furent qu'un mélange d'air et de la poussière expérimentée par lui, de composition et de nature indiquées, n'était pas inflammable à la température et à la pression ordinaires, mais que la présence d'une très petite quantité de grisou, impossible à reconnaître à la lampe Davy par l'observateur le plus expérimenté, rendait la poussière inflammable et la faisait brûler librement avec une flamme rouge fuligineuse. D'où l'on concluait qu'une explosion qui prendrait naissance d'une manière quelconque dans une mine sèche et poussiéreuse, pouvait s'étendre à

des parties éloignées des travaux où la présence du grisou n'était absolument pas soupçonnée.

Dans son second mémoire, M. Galloway établissait que le retour d'air d'une mine dont le charbon dégage une forte quantité de grisou, comme celle de Llwynpia (où l'on estime que le retour d'air tient approximativement 2 à 2 1/2 p. 100 de grisou) peut être rendu inflammable par une addition de poussière. Il fit également connaître des expériences qui semblaient établir que la flamme résultant d'une explosion de grisou dans un point donné d'une mine pouvait être étendue plus ou moins loin par la poussière soulevée et mise en suspension dans l'air circulant dans la mine, même en l'absence complète de toute trace de grisou dans le courant.

L'appareil établi par M. Galloway pour ces dernières expériences était très ingénieux; mais on pouvait se demander si de petites quantités de grisou n'avaient pas pu passer avant l'explosion, de la partie de l'appareil où le mélange d'air et de gaz était préparé et allumé, dans le conduit où la poussière était soulevée et où la flamme de l'explosion était projetée.

Des expériences étendues ont été faites et se poursuivent à la mine de Harton, sous la direction de M. Lindsay Wood et du professeur Freire Marreco, ainsi qu'aux forges de Brood Oaks par une commission de la société des ingénieurs de Chesterfield et du Derbyshire, sur les effets obtenus en amenant de l'air tenant des poussières en suspension et se mouvant à des vitesses variables, sur la flamme d'une lampe ou d'un bec de gaz, ou sur une flamme produite par une petite charge de poudre tirée par un pistolet ou un canon.

Les appareils employés dans ces expériences et dans quelques-unes de celles de M. Galloway sont semblables dans leur construction générale, et ne diffèrent que par leurs dimensions ou quelques détails. Ils consistent en de longues

caisses, tuyaux ou conduites en bois, munis de fenêtres pour les observations, avec portes de sûreté, trappes, ou autres dispositions, pour éviter la destruction de l'appareil par une explosion; des dispositions appropriées sont prises pour faire varier la vitesse du courant et les proportions d'air, du grisou ou de gaz d'éclairage, ainsi que la température du courant d'air; dans quelques cas, on a pu faire en sorte que les poussières pussent être maintenues en suspension et entraînées par le courant. On a essayé également dans ces appareils de mesurer comparativement les efforts produits par une explosion. Les hauteur et largeur des conduites employées ont varié de 305 sur 124 millimètres à 457 sur 371. Leur longueur a été fort variable. M. Galloway a employé des conduites de 5m,798 et 24m,38; à Harton, la longueur était de 12m,80 à partir de la trémie à poussière, avec une conduite parallèle en retour de 11m,88; à Chesterfield, la longueur était de 18m,90, depuis la trémie.

Il n'apparaît pas que dans les nombreuses expériences faites à Harton en exposant des lampes à feu nu ou en tirant de petits canons (représentant un coup de mine qui débourre) dans un courant d'air chargé de poussières, en des points variés du courant, on ait obtenu quelques indications concluantes de la propagation de la flamme par les poussières. Au contraire, j'ai lieu de croire que la commission de Chesterfield considère qu'elle a mis hors de doute que la flamme se propage dans un mélange de poussières et d'air en l'absence de toute trace de grisou.

A la mine de Garswood Hall de MM. Smethurst, Hayle et Grime, à Brynn, près Wigan, on dispose, à la surface, d'une source abondante et continue de grisou qui a été utilisée par M. William Smethurst dans de nombreuses et importantes expériences sur les lampes de sûreté faites dans des appareils d'une disposition générale semblable à ceux précédemment décrits.

La commission royale sur les accidents de mines a mis à profit cette source de gaz, ces commodités spéciales, ainsi que l'aide obligeante de M. Smethurst lui-même, pour poursuivre des expériences étendues sur les mérites comparatifs des différentes lampes de sûreté. Il n'était besoin pour ces expériences que d'une conduite relativement courte, et l'ensemble de l'installation était très simple; mais de grandes précautions ont été prises pour obtenir des courants de vitesses uniformes exactement connues, des proportions parfaitement déterminées de grisou et d'air et leur mélange intime. La commission s'est convaincue qu'en ce qui concerne ces points importants, l'appareil dont elle s'est servie laisse peu à désirer.

Diverses modifications ont été faites dans le but d'approprier cet appareil aux expériences que je me proposais de faire avec les échantillons de poussières de Seaham et aux expériences plus étendues sur les poussières que poursuit en ce moment la commission.

On a porté à 8^{m},588 la longueur de la conduite — qui cube par mètre de longueur 91^{litres},7 (1 pied cube par pied de longueur) — entre la trémie qui délivre les poussières à une extrémité, et le redressement vertical, situé à l'autre extrémité, dans lequel agit le jet de vapeur qui détermine et maintient la vitesse du courant. Dans le but d'assimiler la température du courant à celle d'une mine, l'air passe par les tubes d'une grande chaudière tubulaire où il est chauffé par de la vapeur de telle façon qu'on a obtenu que le courant, qui a circulé à des vitesses variant de 0^{m},502 à 5^{m},020 à la seconde, a eu des températures de 24° à 29°,5 C., même pendant les froids rigoureux de l'hiver durant lequel une partie des expériences ont dû être faites.

Dans les expériences sur les échantillons de poussières de Seaham, on a employé les sources de chaleur ou de flamme suivantes :

1° Une lampe Davy ou Mueseler détamisée, avec une

longue mèche, de façon à former une large flamme, mise à l'abri contre l'extinction, dans les courants les plus rapides, par un écran bas ou une feuille métallique;

2° Un large bec de gaz, alimenté par le grisou, et fournissant une grande flamme de 76 à 127 millimètres de longueur également protégée par un écran arrivant juste au-dessous de l'ouverture du bec;

3° Un petit canon muni d'une fusée électrique à la culasse et chargé de 5 grammes de poudre fine à grain. On prenait simplement soin de placer la charge ou de fermer la bouche de manière à assurer l'uniformité dans la force de l'explosion des charges de poudre. Tantôt la bouche du canon faisait face au courant, tantôt il était placé en sens opposé. Tantôt on n'a employé qu'un seul canon; tantôt on en a disposé deux à distance l'un de l'autre, leurs bouches se faisant face, et on les tirait l'un après l'autre, soit immédiatement, soit après un certain temps;

4° Une charge de 26 grammes de poudre (dont 25^{gr},35 de poudre de mine comprimée et de 0^{gr},65 de poudre de chasse pour enflammer la première rapidement) placée à découvert sur le sol de la conduite et enflammée à l'électricité;

5° Une charge de 15 grammes de poudre comprimée, avec un peu de poudre de chasse, disposée et enflammée comme ci-dessus;

6° Une charge de 26 grammes de poudre de chasse disposée et enflammée comme ci-dessus;

7° Une charge de 19^{gr},5 de coton-poudre en liberté placée sur le sol de la galerie et allumée à l'électricité: cet explosif a été employé parce que son inflammation développe subitement un grand volume de flamme de même caractère que celle produite par l'inflammation d'un mélange explosif de grisou et d'air.

Le grisou qui se dégage de la couche *Wigan* 9 *feet*, et avec lequel ont été faites les expériences de Garswood Hall,

est de la variété généralement connue sous le nom de *sharp gas* ou *silver gas* (grisou subtil ou violent ou gaz d'argent). Sa présence dans l'air, en suffisante quantité, est indiquée par l'allongement de la flamme de la lampe de sûreté; mais de faibles proportions, qui donneraient lieu à de petites auréoles bleues à la flamme d'une lampe Davy avec d'autres espèces de grisou, ne donnent aucune indication avec cette variété. Il faut être un observateur extrêmement expérimenté pour reconnaître à la lampe 2,5 p. 100 de ce gaz.

Les premières expériences ont été faites sur des courants animés de vitesses variant de 1 à 5 mètres par seconde, et contenant 3,5 p. 100 de ce gaz qu'on faisait passer sur une lampe Davy détamisée : tantôt l'inflammation s'est produite presque immédiatement au moment du contact du courant et de la flamme, tantôt après que le mélange avait dépassé la flamme depuis cinq à dix secondes; l'inflammation générale du mélange étant précédée par des étincelles lancées en avant de la flamme de la lampe. Dans deux ou trois cas, un mélange contenant seulement 3 p. 100 de grisou s'est enflammé après que le courant eut passé depuis quelque temps; mais, dans ces cas, il est possible que d'autres conditions que celles présentement mentionnées aient déterminé l'inflammation du mélange. Avec un courant animé d'une vitesse de 0^{m},50 par seconde, le seul effet produit par un mélange de 3 p. 100 de grisou est un allongement de la flamme de la lampe; à 3,25 p. 100 se produisait une flamme très faiblement vacillante qui s'allongeait quand la proportion de gaz s'élevait à 5,50 p. 100. A 3,75 p. 100 la flamme de la lampe était prolongée par une flamme légère qui augmentait de dimension quand la proportion de grisou arrivait à 4 p. 100; à 4,25 p. 100 dans un cas, et 4,50 p. 100 dans un autre, la flamme s'accrut rapidement, remplissant la conduite en avant de la flamme de la lampe, et finalement il y eut inflammation générale du mélange dans toute la conduite.

Dans un appareil disposé à Woolwich pour étudier les effets d'une flamme, produite par l'allumage électrique de petites quantités de coton-poudre, sur des mélanges de gaz d'éclairage et d'air, avec ou sans poussière, mais *parfaitement au repos*, on n'obtint aucun résultat avec des mélanges de 3 et 4 p. 100 de gaz et une faible explosion avec un mélange de 4,25 p. 100.

Il résulte de ce qui précède que, dans des courants de vitesse forte ou modérée, un mélange contenant 3,5 p. 100 du grisou ci-dessus spécifié s'allume à la flamme d'une lampe de sûreté, la flamme se propageant en sens inverse du courant avec un faible effet explosif, tandis qu'à vitesse faible ou dans une atmosphère tranquille, il faut 4 à 4,5 p. 100 de gaz d'éclairage ou du grisou précité pour produire le même résultat.

Une série d'expériences, aussi semblables que possible à tous égards les unes avec les autres, a été faite avec les dix échantillons de poussières de Seaham, préalablement desséchés, mis en suspension dans des courants ayant à chaque fois une vitesse de 3 mètres à la seconde et une température d'environ 27° C. Une lampe Davy détamisée, la flamme protégée par un écran, était placée dans la conduite à 3^{m},658 du point où le courant recevait la poussière. Celle-ci était toujours débitée en quantité aussi grande que le permettait l'appareil d'alimentation. Dans deux ou trois cas, les quantités de poussière dont on disposait étaient relativement faibles et par suite ne purent donner lieu à une alimentation d'une durée aussi longue que dans les autres expériences; mais les résultats généraux obtenus ont été assez nets pour permettre une classification des poussières en ce qui concerne leur propriété de déterminer l'inflammation d'un mélange d'air et de gaz, tel que la flamme de la lampe détamisée n'indiquait aucune tendance à l'enflammer avant l'adjonction des poussières; ou, en d'autres termes, en ce qui concerne la proportion de grisou néces-

saire pour donner des propriétés explosives au mélange d'air et de poussière. Ce qu'on peut appeler le ***degré de sensibilité*** des échantillons de poussières relativement à ce dernier point, est indiqué dans le tableau suivant où les échantillons sont désignés par leurs lettres indicatives du tableau I. On a rapproché dans ce tableau la classification par richesse en charbon et celle par finesse des poussières, aussi bien que le degré de l'importance d'après laquelle elles ont été affectées par la chaleur lors l'accident de Seaham, autant du moins, pour ce dernier point, qu'on a pu l'apprécier par l'examen microscopique de faibles spécimens.

TABLEAU II

CLASSIFICATION			ACTION de la chaleur.	DÉSIGNATION des échantillons.
par richesse en charbon.	par finesse de la poussière.	par degré de sensibilité.		
X, K les plus riches. S V M T O R U N	X, K, S pas de différence sensible. O V M N U T R	X K S N M R U V O T	X, K, M, V aucune action apparente. N, O action douteuse. S T U R la plus atteinte.	X des cribles. K sol du travers-bancs courbe. S plan incliné de la machine du district n° 1; montants et muraillements. N district Hutton n° 3, voie sud. M voisinage de la machine de Maudlin. R parois du plan incliné de la machine du district n° 1. U travers-bancs, district n° 1, troisième voie est. V au delà de l'extrémité du travers-bancs, district n° 1, troisième voie est. O sol du vieux plan incliné. T voie de circulation du district n° 1.

Les poussières les plus sensibles, qui sont aussi les plus riches en charbon et les plus fines, ont produit des mélanges explosifs avec seulement 2,5 p. 100 de grisou. Les suivantes par ordre de sensibilité, et qui ne diffèrent pas beaucoup des premières à cet égard, les suivent aussi en ce qui concerne la richesse en charbon et la finesse; mais la quatrième, peu différente de la précédente en sensibilité,

est la poussière qui, à l'examen chimique, s'est montrée la plus pauvre en charbon (*), tenant environ moitié de son poids en matières non combustibles. Ces poussières, quoique d'une finesse moins uniforme que celle des échantillons précédents, étant très uniformément suspendues dans le courant qui les charriait, 2,75 p. 100 de grisou suffisant pour produire un mélange faisant explosion à la flamme de la lampe. Des six autres échantillons, quatre étaient semblables les uns aux autres et moins sensibles que les précédents. On remarquera qu'ils diffèrent entre eux comme richesse de charbon et proportion de poussière fine. Finalement il y a deux échantillons qui sont franchement moins sensibles que les autres; ils ne présentent pas une différence bien marquée de l'un ou de l'autre des quatre échantillons précédents pour la richesse en charbon, mais ils ne pouvaient pas être mis en suspension aussi complètement et aussi uniformément que les autres. Ces six échantillons formaient tous des mélanges plus ou moins franchement explosifs dans un air contenant 3 p. 100 de grisou.

Le tableau précédent montre que le fait d'avoir été plus ou moins affecté par la chaleur dans l'accident du 8 septembre est sans relation avec le degré de sensibilité. Un examen des densités de quelques échantillons a montré que ceux qui étaient les plus sensibles avaient la moindre densité, par suite d'une moindre proportion d'impuretés plus lourdes que le charbon : ainsi les densités de X, K, S sont respectivement 1,41, 1,50, 1,47. Mais pour les autres échantillons, il n'y a aucune relation entre les densités et la sensibilité : ainsi, des deux moins sensibles, O a une densité de 1,53, tandis que celle de T est de 1,72 et l'échantillon U, qui contient une si grande proportion de

(*) Il y a lieu de remarquer toutefois que, rapportée à la houille supposée pure, la teneur de cet échantillon en matières volatiles est la plus élevée de tous les échantillons (*Note du traducteur*).

matières non combustibles, et le troisième par rang de sensibilité, a la plus haute densité 1,89.

En soumettant des poussières d'autres mines à des expériences identiques, on a trouvé d'abord que les échantillons les plus sensibles de Seaham l'étaient un peu moins que deux échantillons des houillères de Madeley et Leycett (*), puits de Fair Lady. Un courant abondant de ces poussières dans de l'air contenant seulement 2 p. 100 de gaz et animé d'une vitesse de 3 mètres par seconde, prenait feu presque immédiatement en arrivant sur la flamme de la lampe, et une inflammation générale du mélange dans la conduite suivait très rapidement à la première étincelle produite en avant de la flamme. Un autre échantillon a fourni un résultat semblable avec 2,25 p. 100 de grisou. Des échantillons de poussières de Blantyre (**), d'Abercarn (***) se sont montrées aussi sensibles que les plus sensibles de Seaham; quelques échantillons de Penygraig (****) correspondaient à ceux de Seaham; ils sont de second ordre comme sensibilité, mais ils produisaient des explosions plus violentes que l'un quelconque des échantillons de Seaham quand on enflammait des mélanges de poussières et d'air contenant 2,75 et 3 p. 100 de grisou.

Bien que les plus grands soins eussent été pris pour rendre uniforme, dans les différentes expériences, l'alimentation en poussières du courant de grisou et d'air, quelques différences inévitables se sont produites dans la ra-

---

(*) Houillères du Staffordshire-Nord où les accidents ont été assez fréquents et plusieurs très graves dans ces derniers temps (L. A.).

(**) Deux explosions ont eu lieu à cette houillère située en Écosse, en 1877, 207 victimes; et en 1879, 28 victimes (L. A.).

(***) Une explosion survenue à cette houillère du South-Wales, en 1878, a fait 268 victimes (L. A.).

(****) Penygraig vient d'être, en décembre dernier, le théâtre d'une explosion générale qui a fait 101 victimes et qui a été attribuée aux poussières par M. Galloway (L. A.).

pidité avec laquelle était délivrée la poussière, et ces variations, sans aucun doute, ont affecté, dans quelques cas, la rapidité de l'inflammation du mélange; mais la répétition des expériences avec les mêmes échantillons a établi l'exactitude des résultats généraux, ce qui est confirmé par l'analyse de ceux obtenus avec des échantillons d'un même caractère.

Les échantillons de Leycett correspondent à peu près, comme composition chimique et densité, à la poussière provenant des cribles de Seaham; leur sensibilité légèrement supérieure peut donc être attribuée à ce qu'ils se mettent mieux et plus uniformément en suspension dans le courant et peut-être aussi à des particularités physiques. Si la richesse d'une poussière en charbon, ou sa plus grande inflammabilité, exerce une influence sur la rapidité et par suite la violence de l'explosion d'un mélange de poussière et de quantités déterminées de grisou, les caractères physiques et l'état mécanique (légèreté, porosité et état de division) contribuent évidemment, plus que la richesse en charbon ou la combustibilité de l'échantillon, à déterminer la facilité relative avec laquelle il provoque l'inflammation d'un mélange gazeux, non susceptible de s'enflammer par lui-même dans des conditions semblables à tous autres égards, et à déterminer la proportion de grisou nécessaire pour produire, après addition de poussières, un mélange qui s'enflammera et *propagera* la flamme lorsqu'il arrivera au contact d'une flamme. Cela est fortement établi par ce fait que l'échantillon de Seaham contenant la moindre proportion de charbon et près de moitié de son poids de matières non combustibles, est presque aussi sensible que les échantillons qui sont formés complètement ou principalement de charbon.

Les résultats obtenus avec cette sorte de poussière m'ont conduit à essayer si l'inflammation, par la flamme d'une lampe, d'un mélange de grisou et d'air, non inflammable

De certains phénomènes observés dans les expériences avec les poudres incombustibles, il paraît probable, toutefois, qu'il peut intervenir un autre mode d'action, fort important et tout à fait distinct, l'action d'une matière solide finement divisée et chauffée, susceptible de déterminer l'inflammation de mélanges gazeux qui ne pourrait pas avoir lieu sous l'influence seule d'une flamme.

Tout ce sujet fera l'objet, de la part de la commission royale sur les accidents de mines, des études complémentaires qu'il demande; mais les expériences entreprises par moi sur des mélanges de grisou et d'air et de poussières de Seaham ou d'autres provenances, — ces dernières ayant fourni des résultats concordants avec ceux des premières, — ont pleinement confirmé les faits bien établis déjà, en partie, par les expériences de M. Vital et de M. Galloway, à savoir que les poussières charbonneuses provoquent, étendent et aggravent les explosions de grisou dans les mines, par suite de la rapide inflammabilité du combustible finement divisé et de sa facilité à se mettre et à rester en suspension dans les courants d'air, et qu'elles peuvent aussi elles-mêmes entrer en action comme une matière brûlant violemment et rapidement et même comme une matière explosive, par l'intermédiaire d'une proportion de grisou telle que, par elle-même seule, elle ne constituerait pas un danger. Les expériences ont, en outre, démontré que, en dehors de toute inflammabilité propre qu'elles peuvent posséder par suite du charbon qui les constitue partiellement ou principalement et par lequel elles agissent plus ou moins sérieusement en augmentant l'importance des explosions, la chaleur et le feu qui les suivent, les *poussières* dans les mines de houilles peuvent agir comme une matière solide finement divisée, pour déterminer l'inflammation de mélanges où entrent de très faibles proportions de grisou et, par suite, pour développer des effets explosifs qui, bien que faibles dans le début, peuvent être

augmentés en importance par les poussières charbonneuses que la première inflammation du mélange gazeux soulève et fait entrer en action.

Les expériences sur les poussières, dont les résultats sont donnés dans ce rapport, ont montré qu'une proportion de 2 p. 100 seulement de grisou dans des courants d'air animés de 3 mètres de vitesse à la seconde peut être enflammée par la poussière du charbon, ou, ce qui revient au même quant au résultat, *que de petites proportions de grisou peuvent déterminer une inflammation des poussières et la propagation de la flamme.*

Dans quelques expériences sur des courants de très faible vitesse ($0^m,50$ par seconde), avec les poussières les plus sensibles, celles de Leycett, on a trouvé que lorsqu'un mélange chargé de poussières, qui tenait seulement 1,25 p. 100 de gaz, atteignait la flamme d'une lampe à feu nu, elle était entourée par une large frange remplie de particules de poussières incandescentes. Si la proportion de gaz atteignait 1,5 p. 100, une longue traînée d'étincelles se produisait aussitôt, puis bientôt une grande flamme, et après un court intervalle le mélange de poussière et d'air avec cette faible quantité de grisou brûlait d'une extrémité à l'autre de la conduite.

Dans son premier mémoire à la Société royale, M. Galloway a décrit une série d'observations attentives sur l'effet de divers mélanges de grisou d'une nature particulière sur la flamme d'une lampe de sûreté; ce qui, malgré les efforts persévérants de beaucoup de travailleurs intelligents qui ont essayé de constituer une méthode pratique et sûre de déterminer *souterrainement* la proportion du grisou contenu dans l'air, reste encore le seul moyen de rechercher ce gaz et d'en déterminer approximativement la quantité. Ces observations montrent qu'il est extrêmement difficile de reconnaître une proportion de moins de 2 p. 100 de grisou dans l'atmosphère d'une mine, et cette

conclusion vient d'être tout récemment confirmée par M. Galloway au cours de sa déposition dans l'enquête sur la catastrophe de Penygraig, dans laquelle il a dit qu'il « n'est possible qu'à l'œil le plus exercé de reconnaître dans l'air une aussi faible proportion de grisou que 2 p. 100, avec un verre de lampe très propre, une bonne mèche et une bonne huile. La grande majorité des mineurs et tous les ouvriers ordinaires déclareraient *absolument exempt de gaz* le retour d'air d'une mine ainsi composé ».

L'exactitude de cette affirmation de M. Galloway a été confirmée par d'autres personnes de grande expérience en matière de mines de houille, auprès desquelles je me suis informé.

Il semble donc que la proportion de grisou nécessaire pour déterminer l'inflammation de la poussière, qui peut être qualifiée de sensible, par le moyen de la flamme d'une lampe Davy détamisée, et *pour déterminer la propagation de la flamme ainsi produite*, est inférieure à celle qui, avec les moyens actuellement en notre possession, peut être reconnue dans l'atmosphère d'une mine par les observateurs les plus expérimentés et les plus soigneux. Avec des poussières moins sensibles (telles que celles de Seaham), la proportion de grisou nécessaire pour le *début* de ces actions est si faible qu'on peut douter qu'on la reconnaisse, particulièrement avec ces grisous de nature particulière qui ne produisent pas d'auréole dans la lampe de sûreté.

On objectera sans doute que, dans toutes ces expériences spéciales faites sur les poussières par M. Galloway, par la commission de Chesterfield, par les expérimentateurs de Harton et par moi-même, la proportion de poussière suspendue dans l'air était considérablement supérieure à celle qui pourrait exister dans les galeries d'une mine même très poussiéreuse, quel que fût le moment où se produirait une explosion due à l'action combinée du grisou et de pe-

tites quantités de poussières. Mais beaucoup d'observations faites au cours de ces expériences ont montré que même de petites quantités de poussières peuvent, sous des conditions favorables, intervenir comme une cause propre à provoquer l'inflammation d'un mélange de grisou d'une telle nature que, en l'absence de cette cause, il ne se serait pas enflammé. Il y a plus; l'inflammation dans ces expériences était simplement déterminée par la flamme détamisée d'une lampe de sûreté, alors que les catastrophes qui ont été attribuées à des soi-disant explosions de poussières, et qui peuvent être dues à l'action combinée des poussières et du grisou existant en très petites proportions, ont été, en plusieurs cas, nettement associées au tirage de coups de mines. On a montré, par les expériences à petite échelle décrites dans ce rapport, que la sensibilité à l'inflammation d'un mélange d'une petite proportion de grisou et d'air, même en l'absence de poussière, est considérablement accrue par l'augmentation de la source de chaleur ou de la flamme à laquelle le mélange est exposé. On montrera également que l'existence d'une proportion de grisou, très inférieure à la plus petite mentionnée, dans de l'air tenant des poussières en suspension, suffit pour déterminer la *propagation lente* de la flamme par les poussières, si la flamme d'un petit canon chargé seulement de $5^{gr},20$ de poudre, et représentant, sur une très petite échelle, un coup qui débourre, est projetée au milieu des poussières dans la conduite employée pour ces expériences. Ceci étant, il n'est pas douteux que le grand volume de flamme produit en réalité par un coup qui débourre ou même par un coup surchargé, peut produire un résultat semblable dans les points où les poussières seraient facilement et abondamment soulevées par le tirage du coup, et où il existerait de très petites quantités de grisou.

III

Une série d'expériences diverses ont été faites avec les poussières de Seaham les plus sensibles et avec celles plus inflammables de Leycett, dans le but de rechercher quels éléments pouvaient en être tirés sur la tendance de la poussière suspendue dans l'air, *en l'absence complète de grisou*, à s'enflammer et à propager la flamme.

On a observé tout d'abord que le passage d'un nuage de poussières sur la flamme détamisée d'une lampe de sûreté produisait simplement une frange d'irradiations autour de la flamme ; mais si l'on remplaçait la lampe par une grande flamme produite par un bec de grisou, il se produisait un allongement bien marqué de la flamme quand le nuage l'atteignait, entraîné à la vitesse de 1^{m},50 à la seconde, et occasionnellement il se produisait une petite traînée d'étincelles. L'allongement de la flamme s'augmentait en accroissant la vitesse du courant de telle sorte que la flamme pouvait arriver à être trois ou quatre fois plus grande (échantillon K de Seaham).

Dans le but d'exposer les poussières suspendues dans l'air au contact brusque d'une flamme de volume considérable, de manière à reproduire des conditions semblables à celles qui peuvent exister dans le cas d'une explosion de grisou survenant au voisinage de poussières suspendues dans de l'air sans grisou, on plaça des tas de coton poudre à découvert (19^{gr},5), sur le sol de la conduite, et on les alluma à l'électricité ; on notait la longueur à laquelle s'étendait la flamme, tant dans le sens du courant qu'en sens inverse, d'abord en l'absence de poussière, puis en faisant passer des nuages de poussières à des vitesses variables.

A des vitesses faibles (1 mètre à 1^{m},50 à la seconde), le volume de la flamme était nettement augmenté au passage du nuage, et l'augmentation était plus marquée lorsque les

poussières circulaient à grande vitesse (5 mètres par seconde) ; on observa (ce qui avait d'ailleurs été reconnu, mais à un moindre degré, avec les vitesses réduites) que la flamme s'étendait beaucoup plus dans la direction du courant, mais moins en sens inverse, lorsque la poussière passait, que lorsque le coton-poudre était enflammé en l'absence de toute poussière. Ainsi, dans des expériences comparatives faites en allumant le tas de coton-poudre à la distance de 6^m,10 de l'extrémité de la conduite, on a trouvé les résultats suivants, la vitesse du courant étant de 5 mètres par seconde :

VITESSE du courant = 5 mètres par seconde.	LONGUEUR de la flamme		LONGUEUR totale de la flamme.
	dans le sens du courant.	en sens inverse.	
	mètres.	mètres.	mètres.
Sans poussières	2,743	1,829	4,572
Id.	2,743	1,829	4,572
Poussières de l'échantillon K de Seaham	4,268	1,066	5,334
Poussières de l'échantillon K de Seaham	4,268	1,220	5,488
Sans poussières	3,048	1,524	4,572
Poussières de Leycett	4,573	0,914	5 487

Il résulterait de ces nombres que la longueur totale de la flamme produite n'est pas beaucoup augmentée, mais les poussières montrent une tendance à étendre la flamme dans le sens du courant et paraissent l'arrêter en sens inverse.

Dss expériences semblables ont été faites avec des charges libres de 26 grammes de poudre de mine et de poudre de chasse, placées en tas sur le sol de la conduite et allumées par l'électricité. On faisait passer dans la conduite, à la vitesse de 0^m,50 par seconde, la poussière la plus facilement inflammable de Seaham, et celle encore plus inflammable de Leycett. La distance totale sur laquelle la

flamme s'étendait, suivant que l'on allumait la poudre avec ou sans poussières, n'était pas plus grande dans le premier cas que dans le second, comme le montre l'exemple suivant :

VITESSE du courant = 0m,50 par seconde. Charge de la poudre de mine = 26 grammes.	LONGUEUR de la flamme		LONGUEUR totale de la flamme.
	dans le sens du courant.	en sens inverse.	
	mètres.	mètres.	mètres.
Sans poussières	2,133	1,524	3,657
Id.	2,133	1,524	3,657
Poussières de Leycett	1,981	0,610	2,591
Id. de Seaham (échantillon K)	1,981	0,457	2,438

Si la poussière passait à la vitesse de 2m,50 par seconde, il y avait des indications bien marquées de l'extension totale de la flamme par les poussières. Ainsi on a trouvé :

VITESSE du courant = 2m,50 par seconde. Charge de poudre = 26 grammes.		LONGUEUR de la flamme.		LONGUEUR totale de la flamme.
		dans le sens du courant.	en sens inverse.	
		mètres.	mètres.	mètres.
I.	Sans poussières	2,438	0,914	3,352
I.	Poussières de Leycett	2,438 (*)	1,829	4,267
II.	Sans poussières	1,524	0,610	2,134
II.	Poussières de Leycett	2,133	0,914	3,047
II.	Id.	2,133	0,737	2,870

I. Expériences faites avec la poudre de chasse.
II. — — la poudre de mine.

(*) Beaucoup d'étincelles au delà de la flamme en aval.

A des vitesses de 5 mètres par seconde, l'accroissement de la flamme par le nuage de poussières était beau-

coup plus marqué avec de la poudre de mine qu'avec la poudre de chasse, différence qui peut être attribuée à la durée beaucoup plus longue de la flamme produite par l'explosion de la poudre de mine qui brûle relativement lentement : la chaleur développée momentanément est plus grande avec la poudre de chasse qu'avec la poudre de mine.

Voici les résultats obtenus à cette vitesse avec les deux sortes de poudre.

TABLEAU III

VITESSE du courant = 5 mètres par seconde.	CHARGE de poudre.	DISTANCE		LONGUEUR de la flamme		LONGUEUR totale de la flamme.
		à la trémie.	à l'extrémité de la galerie.	dans le sens du courant.	en sens inverse.	
	poudre de chasse.	mètres.	mètres.	mètres	mètres.	mètres.
Sans poussières.....	26 gr.	4,573	3,963	2,743	1,220	3,963
Poussières de Leycett.	Id.	»	»	2,743	1,220	3,960
Sans poussières	Id.	3,048	5,486	3,048	0,762	3,810
Poussières de Leycett.	Id.	»	»	3,048	0,762	3,812
Sans poussières	Id.	1,524	7,014	5,486	1,524	7,010
Poussières de Leycett.	Id.	»	»	6,740	0,914	7,624
	poudre de mine.					
Sans poussières	26 gr.	3,048	5,486	2,133	1,220	3,353
Poussières de Leycett.	Id.	»	»	jusqu'au bout de la conduite.	1,220	»
Sans poussières	Id.	1,524	7,014	3,048	1,220	4,268
Poussières de Leycett.	Id.	»	»	6,710	0,914	7,624
Sans poussières	13 gr.	»	»	2,133	0,305	3,438
Poussières de Leycett.	Id.	»	»	3,963	0,457	4,420

De nombreuses expériences, variées dans les détails, ont été faites, avec les poussières de Seaham ou d'autres provenances, en tirant de petites charges de poudre avec le canon, tantôt en faisant circuler les poussières dans la conduite à différentes vitesses, tantôt avec les poussières déposées sur le sol et les parois de la conduite. Dans les

expériences de cette espèce, deux coups étaient quelquefois tirés simultanément et dans des directions différentes (l'un dans le sens du courant et l'autre contre) de façon que la poussière, soulevée par la commotion et l'impulsion du premier coup, pût être exposée à la flamme du second. Dans tous les cas, avec divers échantillons de Seaham, Leycett et Garswood Hall, avec des courants circulant à une vitesse de 0m,50, 1 mètre, 1m,50 par seconde, les résultats ont été négatifs. A la vitesse de 5 mètres par seconde, il y eut, dans plusieurs expériences, une indication légère, mais nette, d'inflammation des poussières par les coups tirés dans le sens du courant. Dans ce cas, le volume de la flamme, produite en tirant le coup, était certainement plus grand que lorsqu'il n'y avait pas de poussière dans l'air, mais la durée de l'impulsion n'était que légère si tant est même qu'elle fût prolongée. Dans un seul cas, on produisit une longue flamme rouge en tirant un coup qui arriva jusqu'à l'extrémité d'aval de la conduite. Un peu de grisou avait passé dans la conduite immédiatement auparavant, et il fut évident que, bien que l'appareil eût été ultérieurement ventilé, ce résultat exceptionnel était dû à la présence, certainement très faible, de cette quantité de grisou; car, l'expérience ayant été soigneusement répétée, toutes les conditions étant identiques sauf la présence possible du gaz, le seul effet observé fut le léger accroissement de la flamme produite par le coup, ainsi qu'il a été rapporté ci-dessus.

Quelques expériences faites avec ces canons dans des courants contenant de petites quantités de grisou, avec ou sans la présence de poussière suspendue, ont apporté une intéressante corroboration aux résultats donnés dans la seconde partie de ce rapport. Il suffira d'en rapporter ici deux ou trois cas. Le canon fut tiré dans un mélange d'air et de 2,25 p. 100 de grisou, passant à des vitesses de 0m,50 à 1 mètre par seconde, et dans une atmosphère tenant

5,75 p. 100, circulant à la vitesse de $4^m,50$ par minute : on n'obtint aucun effet. Avec seulement 1,75 p. 100 de grisou, à la vitesse de $0^m,50$, la poussière étant tenue abondamment en suspension dans l'air, la partie de la galerie immédiatement en amont de la flamme produite par le coup se remplit de flamme qui, toutefois, n'alla pas plus loin : des résultats analogues ont été obtenus en tirant le coup contre ou dans le sens du courant. En augmentant légèrement la proportion du gaz (2 p. 100 et 2,25 p. 100), la poussière passant librement, le mélange s'enflamma en entier avec effet explosif. Dans un cas, de l'air contenant 2 p. 100 de gaz passait avec une vitesse de $0^m,50$ par seconde dans une conduite où il y avait seulement une petite quantité de poussière déposée sur le fond et les parois : en tirant un coup dans la direction du courant, on produisait une flamme rouge qui s'étendait à la distance de $1^m,20$ et s'étalait en roulant sur le sol de la conduite jusqu'à 1 mètre plus loin. Ce résultat montre l'influence de quelques particules de poussière pour produire l'inflammation et propager la flamme d'un mélange qui autrement ne se serait pas enflammé; effet qui correspond à l'influence exercée par une très faible proportion de gaz pour déterminer l'inflammation et propager la flamme à quelque distance par un nuage de poussière, ainsi qu'il a été montré par une expérience précédente.

RÉSUMÉ.

Les faits principaux qui paraissent avoir été plus ou moins nettement établis par les résultats obtenus dans les expériences faites avec les poussières de Seaham et d'autres provenances, et qui sont l'objet de ce rapport, peuvent être résumés comme suit :

1. Plusieurs des échantillons de poussières recueillis à Seaham en novembre 1880 portent des indications d'une

action de la chaleur ; ces indications étaient très légères dans quelques cas et considérables dans trois échantillons seulement : Q (muraillement sur le côté du retour des portes de la galerie Polka), R (plan de la machine du district n° 1 grand tournant) et T (sol de la galerie de circulation du district n° 1).

2. Les deux échantillons pris au sol et sur les boisages dans le travers-bancs courbe du tour des puits, à proximité du point où un coup a été tiré au moment de l'explosion, ainsi que l'échantillon du voisinage de la machine de Maudlin ne portent aucune trace d'une action de la chaleur.

3. Les échantillons de Seaham montrent des différences considérables comme richesse en charbon, finesse, uniformité de division, densité, etc.; la proportion de charbon varie de 96 à 54 p. 100 dans les échantillons desséchés et criblés.

4. L'examen chimique et microscopique ne fournit aucune donnée permettant de dire jusqu'à quel point les poussières peuvent avoir joué un rôle pour produire, augmenter ou transmettre l'explosion de Seaham.

5. Mais il y avait preuve évidente de l'existence de poussières partiellement brûlées en plusieurs points très distincts les uns des autres et dans diverses directions.

6. Les divers échantillons différaient considérablement les uns des autres en *sensibilité*, c'est-à-dire dans la propriété de déterminer l'inflammation d'un mélange d'air et de grisou en telles proportions qu'il ne serait pas inflammable par lui-même au contact de la flamme d'une lampe, ou, eu égard à la proportion de grisou nécessitée par les divers échantillons pour leur donner des propriétés explosives, une fois mis en suspension dans l'air.

7. Les poussières de Seaham les plus sensibles étaient les plus riches en charbon et celles qui tenaient les plus fortes proportions de poussières très fines.

8. La comparaison des poussières de Seaham avec celles

provenant d'autres mines où sont survenues de récentes catastrophes a montré que les plus sensibles parmi les premières le sont un peu moins que celles de Leycett (puits Fair Lady) qui tiennent le premier rang parmi toutes celles expérimentées. Les poussières de Leycett correspondent à très peu près, au point de vue de la composition et de la densité, à la poussière de charbon la plus pure de Seaham; leur sensibilité quelque peu supérieure est peut-être attribuable à ce qu'elles restent plus uniformément suspendues dans le courant, mais peut-être aussi à quelques particularités physiques.

9. Une des poussières de Seaham des plus sensibles (la troisième à ce point de vue) contenait la plus faible proportion de charbon de tous les échantillons et était formée de matière incombustible pour la moitié environ de son poids.

10. Les expériences spéciales faites à la suite de cette observation ont montré que des poudres absolument incombustibles, non susceptibles d'un changement chimique par l'action d'une flamme, sont peu inférieures à la poussière de Seaham la plus inflammable et la plus sensible pour déterminer l'inflammation d'un mélange d'air et de grisou inflammable par lui-même.

11. Des mélanges d'air et de grisou en proportions voisines de celles où ils s'allumeraient au contact d'une flamme sont enflammés instantanément s'ils contiennent en suspension quelques particules seulement de ces poussières incombustibles ou de celles de Seaham et d'autres houillères.

12. Cet effet paraît attribuable, tout au moins en partie, au fait que ces particules de poussières, en passant à travers une flamme, deviennent immédiatement incandescentes et, par suite, localisent et augmentent la chaleur en ces points et de la sorte déterminent l'inflammation du mélange de grisou et d'air qui les entoure. Mais quelques phénomènes

observés au cours des expériences avec les poudres incombustibles portent à penser que des matières solides finement divisées de certaines natures peuvent exercer un autre mode d'action tout à fait distinct, lorsqu'elles sont chauffées dans des mélanges grisouteux, action qui peut contribuer d'une façon importante à déterminer l'inflammation de mélanges gazeux qui ne seraient pas inflammables par l'action seule d'une flamme. Prochainement ce sujet sera complètement étudié.

13. La plus faible proportion du grisou employé (celui de la couche *Wigan* 9 *feet*) qui s'enflamme et produit des effets explosifs, en passant sur la flamme d'une lampe à feu nu, à la vitesse de 3 mètres par seconde, en entraînant en suspension la plus sensible des poussières de Seaham, a été de 2,5 p. 100. La poussière la plus sensible de Leycett a fourni un mélange explosif en passant sur une flamme, dans les mêmes conditions, avec un air contenant 2 p. 100 de grisou. Un mélange d'air avec 2,75 p. 100 de grisou a été allumé à la lampe par l'intermédiaire d'une poudre absolument incombustible (de la magnésie calcinée).

Dans un courant animé d'une vitesse de $0^m,50$ seulement par seconde, la poussière de Leycett, suspendue dans un air contenant 1,5 p. 100 de grisou, s'est enflammée à la flamme de la lampe et l'inflammation s'est étendue à tout le mélange.

14. La présence accidentelle d'une proportion de grisou qui peut avoir été de beaucoup inférieure à la plus petite de celles ci-dessus mentionnées, a permis l'inflammation de la plus inflammable des poussières charbonneuses, celle de Leycett, et la propagation de la flamme à quelque distance, en tirant une petite charge de poudre d'un canon, pendant que la poussière circulait dans le courant.

15. La facilité de l'inflammation d'un mélange d'air et d'une petite proportion de grisou est considérablement

augmentée par l'augmentation de la source de chaleur.

16. Les résultats des expériences avec les poussières de Seaham et d'autres provenances paraissent avoir démontré que :

a) Les poussières charbonneuses dans les mines non seulement développent et étendent les explosions en raison de la rapide inflammabilité du combustible finement divisé et de sa disposition à se mettre et à rester en suspension dans les courants ;

b) Mais elles peuvent elles-mêmes aisément intervenir comme un agent de combustion vive qui propagera la flamme rapidement aussi loin que s'étend son mélange avec l'air, et même comme un agent explosif, par l'intermédiaire, dans l'atmosphère de la mine, d'une proportion de grisou dont l'existence, en l'absence de poussière, ne constituerait pas un danger ;

c) Les poussières dans les houillères, en dehors de toute inflammabilité propre qu'elles peuvent posséder, peuvent opérer d'une façon différente comme matière solide finement divisée, en déterminant l'inflammation de mélanges de faibles proportions de grisou, et par suite en développant les effets explosifs ;

d) Une poussière, comme celle de l'échantillon N de Seaham, peut, par suite, être une source de danger, bien que ne contenant qu'une petite proportion de charbon ou de matière combustible. Quoique l'explosion qui peut survenir par l'action d'une poudre incombustible, de la façon susindiquée, puisse être tout d'abord d'un caractère très faible ou anodin, elle peut être presque immédiatement augmentée en amplitude et en violence par la poussière charbonneuse que la première inflammation soulèvera et fera entrer en action.

17. La proportion de grisou nécessaire pour faire intervenir les poussières dans une mine comme agent de combustion rapide ou d'explosion, même sur faible échelle et

avec l'emploi d'une petite source de chaleur ou de flamme, est inférieure à la plus faible qui puisse être reconnue dans l'air d'une mine, même par l'observateur le plus expérimenté, avec les moyens dont nous disposons actuellement, ainsi qu'il a déjà été établi par les expériences de M. Galloway. Il y a plus : avec les poussières très sensibles ou très dangereuses à cet égard et très probablement avec des poussières qui ne seraient pas beaucoup plus sensibles que les plus sensibles de Seaham, et *avec la présence d'une source de chaleur ou de flamme considérable*, d'autre part, telle que celle produite par un coup de mine qui débourre ou surchargé, une petite proportion de grisou, dont la possibilité de l'existence dans la mine ne pourrait absolument pas être soupçonnée, peut être une cause qui provoque le développement d'une explosion de poussières.

18. En l'absence complète de grisou, les poussières charbonneuses montrent quelque tendance à s'enflammer en passant sur une grande flamme de lampe à une grande vitesse; exposées à l'action d'un grand volume de flamme, tel que celui produit par l'explosion de poudre ou de coton-poudre en liberté, elles montrent, en outre, une tendance marquée à étendre ou propager la flamme. Mais, autant qu'on peut en juger par des expériences à petite échelle, cette *tendance* — que montraient les échantillons X, K et S de Seaham et encore plus la poussière de Leycett — est de nature limitée et extrêmement différente de la *propriété* d'étendre ou de propager la flamme que possèdent des poussières même non sensibles *en présence d'une très petite quantité de grisou.*

Finalement on peut admettre comme possible que, étant donné le grand volume de flamme et les violents effets perturbateurs d'un coup de mine qui débourre, comme cause première d'une inflammation de poussières et de leur mise en suspension dans l'air, une pareille inflammation puisse, en l'absence complète de grisou, être propagée à une plus

grande distance que les résultats de petites expériences ne peuvent le faire supposer. Mais on ne peut guère soutenir que l'air d'une mine, dont le charbon dégage du grisou puisse être, à un moment quelconque, absolument *sans* grisou ; et comme l'existence de quantités de gaz très petites et non soupçonnées peut suffire pour déterminer la facile propagation de la flamme par les poussières et développer ainsi de violents effets explosifs, il ne paraîtra pas nécessaire de supposer que les poussières charbonneuses peuvent, en l'absence complète de grisou, produire des explosions, même d'un caractère limité, dans le but d'expliquer des cas qui ne peuvent être attribués à des accumulations adventives ou à des dégagements instantanés de grisou.

LAVERIES ANCIENNES
DU LAURIUM

Par M. Ph. NEGRIS, ancien élève de l'École des mines de Paris,
directeur de la Société des usines du Laurium.

Sous les anciennes scories ainsi que sous les *ekvolades* (*), on a souvent rencontré, au Laurium, des laveries maçonnées très bien conservées. Les *fig.* 3 à 9, Pl. I, représentent l'une d'elles, mise à découvert à Sintirini. Elle se compose d'un bassin M, contenant l'eau d'alimentation. Cette eau s'écoulait par les orifices α, α, α, α sur l'aire plane N. Le minerai, réduit à l'état de sable fin, était probablement agité sur cette aire devant les jets d'eau sortant des orifices α, α, α, α : le minerai le plus riche restait sur l'aire N, et était rassemblé dans l'espace resté libre entre les divers jets, tandis que l'eau entraînait le reste. Une deuxième catégorie se déposait dans le canal P qui recueillait toutes les eaux venant de l'aire N : ce canal, en effet, a $0^m,50$ de profondeur. Il est suivi d'un autre canal Q de $0^m,45$ de profondeur, qui débouche dans un bassin R de $1^m,10$ de profondeur. Ce dernier est relié à un autre bassin S exactement pareil par un canal P' de $0^m,45$ aussi de profondeur. Enfin du bassin S part le canal T qui débouche dans le bassin U, peu différent des bassins R et S.

Le but de tous ces canaux et bassins était, d'abord, de classer le minerai, qui avait échappé au dépôt sur l'aire N, en plusieurs catégories (dont quelques-unes étaient probablement retraitées), et ensuite de ramener l'eau débarrassée, autant que possible, des dernières parcelles de mi-

(*) On donne ce nom aux minerais rejetés comme trop pauvres par les anciens.

nerai dans le bassin U. L'eau ainsi clarifiée devait être puisée dans ce dernier bassin et versée sur l'aire inclinée V d'où elle retournait dans le bassin d'alimentation. Deux encoches β, β pratiquées sur les parois du bassin U servaient probablement à recevoir une pièce de bois sur laquelle se tenait l'ouvrier chargé de puiser l'eau dans ce bassin. L'aire V elle-même présentait cette forme spéciale pour que l'eau, en tombant dans le bassin d'alimentation, ne produisît pas de mouvement tumultueux et pût ainsi compléter au besoin sa clarification dans le bassin M lui-même : car les orifices de sortie de l'eau α, α, α, α se trouvent à $0^m,45$ du fond.

Ces orifices sont des troncs de cône dont la grande base a $0^m,20$ et la petite $0^m,02$.

Quant à l'aire Z, elle servait à l'égouttage des matières lavées, afin de réduire au minimum les pertes d'eau. Il est vraiment curieux de voir combien ces laveries sont étudiées avec soin pour réduire la dépense d'eau au minimum. Quand on songe qu'ils n'avaient pour subvenir à leurs besoins que des citernes et quelques puits qui s'épuisaient facilement, à en juger par ce qui se passe aujourd'hui, on comprend l'intérêt que les anciens avaient à ne point gaspiller leur eau. Toute la laverie est recouverte d'une couche de mortier imperméable : ce mortier se compose d'une pâte englobant de petits morceaux de quartz ou de schiste de $0^m,005$ environ de grosseur; la pâte, analysée par M. Dietz, chimiste de la Société des usines de Laurium, a donné les résultats suivants :

Eau à 100°	1,52
CO^2	25,60
SiO^3	24,70
Al^2O^3	6,16
Fe^2O^3	2,75
CaO	26,40
MgO	5,10
Fl	non dosé

Il est à remarquer que ces laveries étaient spécialement des laveries de fins : on comprendait d'abord difficilement, d'après leur description, qu'il en fût autrement ; mais ce qui le prouve encore, c'est qu'on a presque toujours trouvé sur elles, particulièrement sur l'aire Z, de véritables schlamms agglomérés par le temps, ayant l'aspect de grès à grain fin et très friables. Ces matières tiennent généralement de 4 à 5 p. 100 de plomb, plus rarement 12 à 15 p. 100.

Quant au lavage des grenailles, il n'a été trouvé aucun appareil s'y rapportant. Il est certain qu'on classait en grosseur ces matières, car on reconnaît encore aujourd'hui sur les tas d'ekvolades des couches successives de grenailles de grosseur différente : ce n'indiquerait un travail analogue à celui exécuté de nos jours.

La description que nous avons donnée ci-dessus des laveries anciennes ne s'accorde pas avec celle qu'a publiée M. Cordella dans sa brochure sur le Laurium. M. Cordella ne donne la description que d'une laverie incomplètement conservée, et la restauration qu'il en a faite n'a pas été confirmée par les découvertes plus récentes.

Les laveries étaient généralement installées à côté d'une ou de plusieurs citernes : ces dernières étaient souvent étagées, comme cela paraît à Sintirini, pour que le trop-plein de l'une s'écoulât dans la suivante pendant les grandes pluies : il y en a ainsi trois dans cette localité, à la suite l'une de l'autre, précédées chacune d'un petit puits qui servait à arrêter les terres et les débris entraînés par les eaux pluviales : elles sont circulaires, comme cela a lieu le plus généralement au Laurium. On en rencontre cependant quelques-unes qui sont quadrangulaires, comme celle rapportée par M. Cordella. Elles portent chacune un escalier en pierre : cet escalier est tantôt circulaire et suit

la paroi ; tantôt, au contraire, il est droit et taillé dans celle-ci suivant un plan vertical normal à la surface cylindrique de la citerne. Ces escaliers devaient servir probablement au nettoyage des citernes, à moins d'admettre qu'ils aient servi à faire la chaîne pour puiser l'eau, ce qui paraît peu probable ; il est plus naturel de penser qu'on puisait l'eau comme dans un puits, avec une corde.

Les citernes de Sintirini citées plus haut ont $6^m,50$ à $7^m,50$ de diamètre et 6 à 8 mètres de profondeur. On voit que la profondeur était assez considérable, et cela en vue de réduire les pertes par évaporation qui, sous le soleil du Laurium, sont assez considérables. Elles sont toutes, d'ailleurs, taillées dans le roc, qui est un schiste assez tendre, et recouvertes d'un ciment hydraulique comme les laveries.

Un accessoire indispensable des laveries devait être aussi un appareil de broyage : on a, en effet, trouvé au milieu des ekvolades un système de meules représenté *fig.* 10 et 11. B est un noyau central, probablement fixe, appuyé sur le sol par sa grande base ; AA' est un anneau qui a été trouvé séparément ; mais tout fait présumer que cet anneau entourait le noyau, comme l'indique la *fig.* 11, et était mobile autour d'un axe vertical. Une encoche K, existant sur le noyau, indiquerait un point d'appui de cet axe : cette encoche présente $0^m,075$ de profondeur sur $0^m,07$ de diamètre. Le second point d'appui devait se trouver sur quelque échafaudage. Quatre encoches D, diamétralement opposées deux à deux sur l'anneau AA', devaient permettre de supporter celui-ci par des traverses en bois et de le relier à l'axe de rotation de l'anneau. Ces encoches D ont $0^m,05$ de profondeur, $0^m,12$ de largeur et $0^m,350$ de longueur.

Les deux meules sont en trachyte riche en amphibole ; cette roche n'existe pas au Laurium : on devait la faire

venir de l'Archipel où elle se rencontre en grande abondance.

Indépendamment de ces meules, qni ont été trouvées en parfait état de conservation, on rencontre à chaque pas au milieu des ekvolades des morceaux plus ou moins gros du même trachyte, et je présume que ce sont des débris de meules sinon pareilles, du moins analogues au type décrit ci-dessus. Quelques morceaux de laves venant aussi probablement des îles et rencontrés au milieu des ekvolades devaient avoir la même application.

APPAREIL DE CHANGEMENT DE MARCHE A BRAS

AVEC CONTREPOIDS DE VAPEUR

POUR MACHINES-LOCOMOTIVES

Par M. BAUDRY, ancien ingénieur de la marine, ingénieur au chemin de fer de P. L. M.

Le chemin de fer de Lyon vient de munir une de ses locomotives à grande vitesse d'un nouvel appareil de changement de marche, dans lequel l'action de la vapeur est utilisée pour équilibrer les résistances à la manœuvre et pour leur faire en quelque sorte contrepoids, pendant que le mécanicien actionne à bras, comme par le passé, la barre de relevage des coulisses.

Jusqu'ici la manœuvre du changement de marche de toutes les locomotives de cette compagnie s'est faite exclusivement à bras, comme cela se pratique, du reste, dans tous les autres chemins de fer francais et dans la plupart des chemins de fer étrangers.

Ancien appareil de changement de marche à bras. — L'appareil employé sur toutes les locomotives du chemin de fer de Lyon est représenté sur les *fig.* 6 et 7, Pl. II. Une vis A est portée par un chevalet spécial B, dans les coussinets duquel elle peut tourner sans pouvoir se déplacer longitudinalement. Cette vis est actionnée à la main par le volant C qui est claveté sur elle, et à l'aide duquel on la fait tourner. La rotation de la vis entraîne le déplacement longitudinal de l'écrou D, et par suite le mouvement de la barre E de relevage des coulisses qui lui est liée, soit directement comme l'indique la figure, soit par l'intermédiaire d'un levier.

Son insuffisance pour les machines puissantes. — La manœuvre du changement de marche au moyen de l'appareil à vis que nous venons de décrire offre une grande sûreté et une grande précision. A l'époque où cet appareil a remplacé les anciens leviers de changement de marche, il a réalisé une très grande amélioration, et a rendu parfaitement douce la manœuvre des locomotives de puissance modérée en usage à cette époque. Mais depuis lors la puissance des locomotives et les dimensions de leurs tiroirs ont augmenté ; et, sur les locomotives très puissantes usitées aujourd'hui, la manœuvre à bras est pénible et fatigante pour le mécanicien, même avec l'appareil à vis. C'est en vue de soulager le mécanicien, spécialement sur les lignes à grandes pentes où l'on est appelé à battre souvent contre-vapeur, qu'on a combiné l'appareil nouveau qui fait l'objet de cette note.

De l'addition d'un contrepoids pour faciliter la manœuvre du changement de marche. — On avait d'abord cherché à faciliter la manœuvre du changement de marche en faisant agir sur l'arbre de relevage des coulisses un poids convenablement calculé, comme il en existe sur un assez grand nombre de locomotives.

Mais on n'a pas tardé à reconnaître que cet expédient ne pouvait conduire qu'à une solution très imparfaite. En effet, l'action du contrepoids est toujours dirigée dans le même sens, tandis que les résistances opposées à la manœuvre sont dirigées tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, suivant qu'il s'agit de passer de la marche en avant à la marche en arrière, ou inversement. Il en résulte que, si le contrepoids aide la manœvre dans un sens, il lui nuit dans le sens contraire. Il n'est donc possible de lui donner utilement que la valeur nécessaire pour égaliser les conditions de manœuvre dans les deux sens, sans améliorer la condition moyenne.

Il y a plus : si l'on réglait ainsi le contrepoids de manière à égaliser le travail du mécanicien dans un sens ou dans l'autre pour la marche tender en arrière, on exagérerait l'inégalité pour la marche tender en avant, en sorte que, pour cette marche, le contrepoids serait plutôt nuisible.

En partant des considérations qui précèdent, il était naturel de conclure que pour qu'un contrepoids remplît le but visé il fallait que l'action de ce contrepoids changeât de sens, suivant le sens dans lequel le mécanicien tourne le volant de manœuvre. Et c'est ainsi qu'on a pensé à demander à la vapeur de faire l'office de contrepoids, en l'amenant sur l'une ou sur l'autre face d'un piston auxiliaire suivant le sens de la rotation du volant de manœuvre.

Appareil de changement de marche avec contrepoids de vapeur. — La disposition adoptée à cet effet est représentée *fig.* 1 à 5, Pl. II. Elle dérive simplement de l'ancien appareil que nous avons décrit plus haut.

La forme du chevalet B a été légèrement modifiée de manière à porter un cylindre à vapeur H dont l'axe est dans le prolongement de celui de la vis A. Le piston J qui se meut dans ce cylindre a deux tiges, qui sont fixées par leur autre extrémité sur l'écrou D.

L'action de la vapeur sur le piston J se transmet ainsi à l'écrou D; et si la distribution de la vapeur sur l'une ou l'autre face du piston est convenablement réglée, cette action s'exerce en sens contraire des résistances opposées par la barre de relevage, comme le ferait un contrepoids dont la position varierait suivant le sens du changement de la marche.

La vapeur ne peut pas déterminer le mouvement de l'écrou D. En effet, cet écrou ne pourrait se déplacer longitudinalement qu'en faisant tourner la vis A; or le filet de cette vis est trop incliné pour que cet entraînement soit possible. C'est donc le mécanicien qui fait tourner la vis A

à la main comme dans l'ancien appareil; mais au lieu d'avoir à vaincre la résistance appliquée par la barre de relevage sur l'écrou D, il n'a à vaincre que la différence entre cette résistance et l'effort de la vapeur, différence que l'on peut rendre aussi petite que l'on veut.

Il nous reste à expliquer le moyen employé pour régler l'arrivée de la vapeur sur l'une ou l'autre face du piston J, suivant le sens de rotation du volant de manœuvre.

Ce volant C n'est pas claveté sur la vis comme il l'était dans l'ancien mécanisme. Il entraîne la vis par deux tocs, disposés de telle sorte qu'il se produit un déplacement angulaire relatif du volant par rapport à la vis, quand on passe de la position où l'entraînement se fait à droite à la position où il se fait à gauche. Ce jeu angulaire du volant sur la vis produit un déplacement longitudinal du volant, dont le moyeu est fileté et forme écrou sur le prolongement de l'arbre de la vis A. C'est ce déplacement longitudinal qu'on utilise pour ouvrir dans un sens ou dans l'autre le tiroir K, relié au volant de manœuvre par la tige L et le collier M. Il est facile de se rendre compte sur les *fig.* 1 et 4 que, pour que la distribution de la vapeur soit convenable, il suffit que le sens du filetage du moyeu du volant soit inverse de celui de l'écrou D.

Résultats obtenus. — Les essais faits au chemin de fer de Lyon sur une première locomotive ont été très satisfaisants. L'addition du cylindre auxiliaire a rendu la manœuvre aussi facile qu'on peut le désirer, si facile qu'on ne gagnerait évidemment rien à employer la vapeur comme moteur au lieu de l'employer seulement comme contrepoids. Par contre, la disposition adoptée a des avantages spéciaux qui sont incontestables, et qu'il serait difficile de réaliser aussi simplement avec des appareils à vapeur motrice.

En effet, la manœuvre se faisant toujours à la main conserve le caractère de précision qu'elle avait avant l'addi-

tion du cylindre auxiliaire; on règle sans incertitude et sans tâtonnement les coulisses au cran de détente voulu. De plus, la vapeur n'étant qu'un auxiliaire, on peut se passer de son action sans que le mécanisme soit paralysé et que la locomotive tombe en détresse. La manœuvre se fait alors de la même manière que si la vapeur agissait. Seulement elle redevient pénible comme elle l'était avant l'addition du cylindre auxiliaire; un peu plus pénible peut-être parce que les frottements sont plus grands, si l'on n'a pas le temps de séparer les tiges du piston et l'écrou D; mais elle reste possible, et cela sans démontages ni embrayages ou débrayages particuliers.

Un point très important, c'est que dans tous les cas la manœuvre du mécanicien est la même, et elle ne diffère pas de celle qu'il a à faire aujourd'hui avec l'ancien appareil, sans contrepoids de vapeur.

Emploi d'une soupape de réduction de pression pour régler le contrepoids de vapeur. — Nous avons dit plus haut que l'on peut rendre aussi petite que l'on veut la différence entre la résistance appliquée par la barre de relevage sur l'écrou D et l'effort de la vapeur sur le même écrou. Il suffit pour cela de proportionner le diamètre du cylindre auxiliaire aux résistances opposées à la manœuvre des coulisses dans chaque type de locomotives. Mais il a paru préférable, pour ne pas multiplier les modèles et pour faciliter l'entretien au moyen de pièces de rechange communes à tous les types, d'adopter un même diamètre de cylindre pour toutes les locomotives. Le diamètre adopté est assez grand pour les plus grandes résistances à prévoir dans un avenir prochain. Il serait donc trop grand dans un grand nombre de cas, si l'on n'avait ajouté à l'appareil une soupape de réduction de pression. Avec cette soupape, on peut réduire la pression de la vapeur dans le cylindre auxiliaire de manière à rendre l'effort sur le piston J aussi égal que

possible aux résistances auxquelles cet effort doit faire contrepoids.

En dehors de cette question de diminution du nombre des modèles, l'adoption d'un grand diamètre de cylindre auxiliaire avec addition de soupape régulatrice offre un autre avantage : il rend l'effort auxiliaire de la vapeur indépendant de la pression à la chaudière, en sorte que le contrepoids de vapeur est aussi efficace, quelle que soit cette pression, pourvu qu'elle ne tombe pas au-dessous du chiffre pour lequel est réglée la soupape régulatrice.

La soupape régulatrice employée par le chemin de fer de Lyon est représentée *fig.* 5, Pl. II. La soupape d'admission de vapeur dans la boîte à tiroir est figurée en N. Elle est à siège conique et s'ouvre de haut en bas. Cette soupape se prolonge par une tige O, qui porte un piston P sur la face inférieure duquel s'exerce la pression de la vapeur contenue dans la boîte à tiroir. La face supérieure du piston P est soumise à la pression atmosphérique et à l'action d'un ressort à boudin Q. Il est évident que la pression dans la boîte à tiroir de l'appareil de changement de marche se réglera d'elle-même à la valeur nécessaire pour faire équilibre à la pression atmosphérique augmentée de la bande du ressort Q. La bande de ce ressort peut se régler à la main par la manœuvre de l'écrou R. Cette régulation se fait empiriquement dans chaque cas particulier.

Brevets. — La soupape de réduction de pression est empruntée à un appareil décrit dans des brevets qui sont aujourd'hui la propriété de M. Westinghouse. Quant à l'appareil de changement de marche proprement dit, avec contrepoids de vapeur, il a fait l'objet d'un brevet pris par nous le 7 mai 1880. Ce brevet est aujourd'hui dans le domaine public.

Paris, le 8 août 1881.

SUR LA NATURE DE L'ACIER

LE PLUS CONVENABLE POUR LES RAILS

Par M. L. GRUNER.

L'acier fondu pour rails doit-il être dur ou doux, et la nature de l'acier est-elle, ou non, sans influence sur le profil du rail?

Une commission, nommée par M. le Ministre des travaux publics, fut récemment chargée de comparer, au point de vue de la durée et des frais, les deux types de rails usités en France par nos grandes compagnies de chemins de fer. Doit-on préférer le rail à patin, dit américain, ou le rail à double champignon ? Cette question peut avoir son importance, et cependant il en est une autre qui me semble devoir la primer, c'est celle de la *nature* du métal. La nature de l'acier influe, en effet, sur la durée des rails plus que la forme. Celle-ci n'est pourtant pas indifférente, quoique les conclusions de la commission, dont je viens de parler, laissent la question à peu près indécise dans son rapport du 12 avril 1881 (*). Au point de vue des frais et de la durée, les deux types se vaudraient sensiblement. Il est vrai que la commission s'est bornée à comparer les deux types d'une façon *générale*, sans s'inquiéter des dimensions relatives des diverses parties, qui cependant semblent devoir exercer, comme la *nature* du métal, une certaine influence sur la durée des rails. C'est cette

(*) Ce rapport est inséré p. 5 et suiv. de ce volume des *Annales*.

double question que je voudrais essayer de traiter en ce moment, moins, au reste, dans l'espoir de la résoudre définitivement, que pour attirer sur elle l'attention des ingénieurs chargés de l'établissement des voies ferrées, et celle des ingénieurs qui dirigent les forges. Je m'occuperai d'abord de la plus importante des deux, de la *nature* du métal.

Il ne s'agit pas, bien entendu, du choix à faire entre l'ancien *fer soudé* et le fer ou l'acier *fondu*. Le fer soudé est condammé depuis quinze à vingt ans ; mais il y a *acier* et *acier ;* il y a mille nuances entre l'acier le plus doux, et surtout le simple fer doux fondu, et l'acier le plus dur, préparé pour les filières, les crochets de tours, les coins de monnaies, etc.

On sait bien qu'il ne faut choisir ni l'un ni l'autre des deux extrêmes ; le premier, *trop mou*, céderait sous le poids des locomotives ; le second, *trop dur*, ou plutôt *trop aigre*, se briserait sous le choc des trains. Mais, même en laissant ces extrêmes, il y a encore place pour des aciers de natures très diverses ; dans quelle mesure faut-il se rapprocher, pour les rails, du fer doux ou de l'acier dur ? Telle est la question à résoudre.

Dans l'appendice au rapport précité (*), la question semblerait au fond déjà tranchée. On affirme, comme évident en soi, sans preuves ni discussion à l'appui, qu'au point de vue de la *durée*, les rails en acier *dur* sont préférables ; on ajoute seulement cette réserve, que les rails doux présentent moins de chances de rupture. Cependant, même en admettant la première partie de cette double affirmation, affirmation précisément contestée aujourd'hui aux États-Unis, il s'agirait encore de savoir à quelle limite de dureté il faut s'arrêter, pour éviter les *ruptures* d'une part, la *rapide usure* de l'autre. Or, à cet égard, même en

(*) *Supra*, p. 73.

France, on ne s'entend pas; car, d'après le rapport précité, la compagnie du Nord veut un acier dont la charge de rupture soit comprise entre 60 et 74 kilog. par millimètre carré, avec un allongement sur 100 millimètres de 20 à 10 p. 100, tandis que la compagnie du Midi exige de l'acier ne cédant que sous une charge de 79 à 83 kilog., avec 11 à 4 p. 100 d'allongement (*Supra*, p. 73).

Si, de la France, nous nous tournons vers les autres pays du continent, l'Allemagne, l'Autriche, la Russie, etc., nous verrons que la tendance générale est de préférer, pour les rails, des aciers cédant sous des charges de moins de 60 kilog. Cette différence, entre la France et les autres pays, est déjà signalée par M. Deshayes, dans son bon travail sur le *classement* et l'*emploi* des aciers.

En Suède, en Autriche, en Allemagne, dit cet ingénieur, on se sert surtout, pour les rails, d'aciers doux ordinaires de sa *troisième* classe, caractérisés par des charges de rupture comprises entre 50 et 60 kilog., tandis qu'en France on a plutôt recours aux aciers de la *quatrième* classe, de 60 à 70 kilog.; la compagnie du Midi recherche même les aciers durs de la *cinbuième* classe, qui ne cèdent que sous des charges de 70 à 80 kilog.

Cette différence de dureté ressort, au reste, de la comparaison des cahiers des charges, imposés par les diverses compagnies de chemins de fer aux maîtres de forges. Entrons à ce sujet dans quelques détails.

En Autriche, une commission, nommée par le gouvernement, s'occupe en ce moment même de la rédaction d'un cahier des charges uniforme, en vue de parer aux inconvénients résultant de la diversité actuelle. Cette diversité est, en effet, assez grande. Le chemin de l'État (*Staatsbahn*), principalement dirigé par des ingénieurs français, a adopté un cahier des charges peu différent de celui des compagnies de notre pays, tandis que les autres lignes ont plutôt

adopté les prescriptions allemandes. Elles apprécient la force du métal par traction directe, et exigent alors à la fois des limites de résistance et de contraction, ce qui permet d'apprécier, jusqu'à un certain point, le degré de fragilité (*aigreur* ou *manque de corps*) de l'acier, sans avoir recours aux épreuves par le *choc*, usitées en France, épreuves qui cependant sont plus sûres et plus simples, ainsi que j'ai cherché à le montrer, il y a dix ans déjà, dans ma note sur les propriétés mécaniques des aciers phosphorés (*Annales des mines*, 1870, tom. 17) (*).

En Autriche donc et en Allemagne, on exige en général que l'acier résiste au *minimum* à 55 kilog. de charge, et que la contraction de la section de rupture soit supérieure à 20 p. 100; il faut, de plus, que la somme des deux nombres atteigne pour le moins 85; c'est-à-dire 55 kilog. et 30 p. 100, par exemple; ou 60 kilog. et 25 p. 100, etc.

Les lignes Élisabeth et François-Joseph descendent même à 50 kilog. de résistance, pourvu que la contraction soit alors de 35 p. 100.

En Allemagne aussi, dans ces derniers temps, plusieurs sociétés acceptent des rails de moins de 55 kilog. de résistance, pourvu que ce nombre fasse toujours avec la contraction une somme d'au moins 85, ou 90 dans certains cas.

On voit donc qu'en Allemagne et en Autriche on recherche surtout pour les rails les aciers doux ordinaires de la troisième classe de M. Deshayes.

La même conclusion ressort des épreuves au mouton, prescrites par quelques autres sociétés. Ainsi la *Süd-Bahn* de l'empire d'Autriche soumet ses rails à patin au choc d'une masse de 1.000 kilog., tombant d'une hauteur de

(*) Aux États-Unis l'ingénieur Sandberg, spécialement chargé de la réception des rails, a aussi recommandé tout récemment l'épreuve au mouton, comme la plus propre à éprouver la force de résistance des rails. (*Railroad Gazette*, du 4 février 1881.)

15 pieds de Vienne (4^m,75), les appuis étant à 3 pieds (0^m,95) d'écartement. L'*Elisabeth-bahn* exige un poids de 500 kilog., tombant de 6^m,50, les supports étant placés à 1 mètre de distance, sur une chabotte en fonte de 10.000 kilog. Ainsi encore, le rail à patin de 33 kilog. de l'Est hongrois doit supporter le choc d'un mouton de 1.000 kilog., tombant de 4 mètres, avec écartement des appuis de 1^m,10; et le rail à double champignon de la Haute-Italie, de 35 kilog., un poids de 1.000 kilog. tombant de 10 mètres, les couteaux étant également à 1^m,10 l'un de l'autre.

Enfin aux États-Unis on impose en général, pour des rails pesant 60 livres par yard (30 kilog. le mètre), l'essai au mouton de 1.000 kilog., tombant de 20 pieds (6^m,10) de hauteur, les appuis étant à 3 pieds (0^m,915) d'intervalle.

En comparant ces conditions aux cahiers des charges français, on voit tout de suite combien les rails étrangers sont plus doux que les nôtres.

Les compagnies françaises se contentent d'un mouton de 300 kilog., les appuis étant placés à 1^m,10 d'écartement, sur une chabotte en fonte de 10.000 kilog., la hauteur de chute étant au maximum de 2^m,50 à 3 mètres (*). Voici en effet, d'après les derniers cahiers des charges, les hauteurs prescrites :

		kilog	mètres.	
Compagnie P. L. M.	Rail à patin	de 32,50. .	2,00	de hauteur.
	—	de 38,75. .	2,50	—
Compagnie du Nord.	Rail à patin	de 37 . . .	2,50	—
	—	de 35 . . .	2,40	—
	—	de 30 . . .	2,25	—

(*) Il est vrai que les chocs sont parfois répétés sur le même rail en partant de 1^m,50 et en remontant le mouton successivement à 1^m,75, 2 mètres, 2^m,25, etc. C'est une condition de la compagnie du Midi.

		kilog.	mètres.	
Compagnie de l'Est.	Rail à patin de 36 . . .		2,40	Ne casse pas en général avec une hauteur de 5 mètres.
	— de 30 . . .		2,25	
Compagnie de l'Ouest.	Rail à patin de 30 . . .		2,00	
	— à double champignon de 38,75 . .		2,00	
Compagnie d'Orléans.	Rail à double champignon de 38. . . .		1,50	
Compagnie du Midi.	Rail à double champignon de 37 . . .		1,75	Le rail doit casser à 4 mètres de chute.

Ajoutons enfin :

Compagnie de la *Staatsbahn* en Autriche, 1879.	Rail à patin de 30,5 sur des supports à 1 mètre d'intervalle.	Au-dessus de 0° de température . . .	3,00
		Au-dessous de 0°. .	2,40

Les rails ainsi frappés ne doivent d'ailleurs pas présenter une flèche permanente dépassant un certain maximum en vue de la rigidité du métal.

Ainsi :

La compagnie P. L. M. fixe comme maximum		0^m,006
La compagnie de l'Est	pour le rail de 36 kilog . . .	0,012
	pour le rail de 30 kilog . . .	0,013 à 0,015
La compagnie du Nord respectivement, selon les poids		0,010, 0,011 et 0,011
La compagnie de l'Ouest	pour le rail à double champignon.	0,008
	pour le rail à patin	0,015

L'ensemble de ces conditions montre bien que l'acier des rails du Midi est plus dur que celui des autres lignes; que les rails de P. L. M. viennent ensuite; puis ceux des compagnies du Nord, de l'Est et de l'Ouest, qui, à leur tour, sont plus durs que les rails de la Staatsbahn et surtout que ceux de la plupart des autres lignes du continent européen.

Aux épreuves par le choc viennent souvent s'ajouter, en France, des essais propres à constater la régidité du métal. Le rail, placé sur deux appuis, à $1^m,10$ d'intervalle, doit supporter pendant cinq minutes, 16, 17, 18 ou 20 tonnes, selon leur poids, sans conserver de flèche permanente, et ne pas se rompre sous une charge à peu près double, de 30, 35 et 40 tonnes. Ces conditions, presque identiques dans la plupart des cahiers des charges des compagnies françaises, prouvent également que l'acier de nos rails est relativement dur.

Aucune des compagnies françaises n'exige des essais de traction et encore moins une certaine teneur en carbone, ou une composition chimique déterminée, sauf pourtant la compagnie P. L. M. qui veut un minimum de 0,003 de carbone dans le lingot. Par contre, on demande en général que le métal *trempe;* et les compagnies de Lyon et du Midi exigent même que l'acier, ainsi trempé, puisse entamer la fonte blanche, ou au moins la fonte d'une nuance gris clair à grains serrés; nouvelle preuve de la dureté de l'acier des rails français.

Enfin les essais de traction opérés dans les usines, à titre de simples renseignements, conduisent au même résultat. Ainsi l'acier de la compagnie P. L. M. ne cède en moyenne qu'à des charges de 65 kilog., avec 14 p. 100 d'allongement sur des barrettes de $0^m,100$, ou 30 à 35 p. 100 de contraction, les extrêmes étant 55 et 80 kilog. avec 16 à 10 p. 100 d'allongement, ou 20 à 35 p. 100 de contraction. C'est le caractère de la quatrième classe de M. Deshayes. L'acier des rails du Midi ne rompt que sous les charges moyennes de 85 kilog. avec 10 à 12 p. 100 d'allongement ou 25 à 30 p. 100 de contraction, les extrêmes étant 70 et 115 kilog., avec des allongements de 14 à 6 p. 100, ce qui correspond aux aciers durs de la cinquième classe.

Si l'on appliquait à ces aciers les conditions imposées par les Sociétés allemandes et autrichiennes, on trouverait

que la somme des nombres représentant la résistance et la contraction serait en moyenne, pour la compagnie P. L. M., 65 + 30, soit 95 et, pour celle du Midi, 80 + 25 à 30, soit 105 à 110, chiffres qui montrent également que les rails de ces deux lignes sont plus durs et plus rigides que ceux des lignes allemandes et autrichiennes.

Si enfin on étudiait la nature chimique des aciers propres aux rails, on trouverait, d'une usine à l'autre, de très grandes différences, parce que l'on peut réaliser de diverses manières le même degré de résistance et de dureté ; il suffit, par exemple, de faire varier en sens inverse le carbone et le manganèse, ou de diminuer la dose de carbone, lorsque croissent les proportions de silicium et de phosphore ; ce qui prouve, pour le dire en passant, combien il serait peu rationnel, de la part d'un consommateur de rails, de vouloir prescrire une certaine formule chimique, ainsi que l'a tenté récemment, comme nous le verrons, l'une des sociétés les plus importantes des États-Unis.

En analysant les rails de la compagnie P. L. M., on trouve, pour la même résistance, et en général pour des propriétés mécaniques peu différentes :

		p. 100.			p. 100.
Tantôt	C	= 0,40 à 0,45	et tantôt	C	= 0,60 à 0,70
	Mn	= 0,60 à 0.50		Mn	= 0,40 à 0,30
	Si	= 0,30 à 0,35		Si	= 0,10 à 0,20

la proportion de phosphore étant, dans les deux cas, au-dessous de 0,10 p. 100 et celle du soufre également très faible. — D'autre part, les rails du Midi doivent retenir, pour 0,60 à 0,70 p. 100 de carbone, une proportion plus forte de manganèse et de silicium que ceux de la compagnie P. L. M., sinon ils ne casseraient pas sous le choc du mouton tombant de 4 mètres de hauteur ; en sorte que cette bizarre condition, provenant de ce que l'on prend à tort l'*aigreur* ou la fragilité pour un signe de dureté, implique en réalité *une plus grande impureté* du métal. Si, en

effet, l'acier était simplement plus carburé que celui de la compagnie P. L. M., il serait alors non seulement plus dur, mais aussi plus résistant, et, par suite, le rail ne se romprait pas sous l'épreuve du choc de 4 mètres.

En résumé, de tout ce qui précède, il résulte positivement que les rails français, et surtout ceux des compagnies P. L. M. et du Midi, sont plus durs que la plupart de ceux des pays étrangers.

Il y a donc réellement sous ce rapport de très grandes divergences; aussi la question n'est-elle pas oiseuse de rechercher quel est au fond le degré de dureté qu'il convient d'adopter au point de vue de la *vie* des rails. On s'en est préoccupé aux État-Unis plus qu'en Europe, et voici les circonstances dans lesquelles la question fut soulevée.

A la suite de l'hiver 1876-1877, de nombreux rails de la *Pennsylvania Railroad C*[y] furent trouvés brisés, ou fendus par écrasement (*crushed*). Le conseil d'administration de ladite ligne, désireux de connaître la cause des ruptures, chargea le D[r] Dudley, ingénieur chimiste, de rechercher les propriétés mécaniques et la composition chimique des mauvais rails et de les comparer aux *bons* rails de la même ligne, les uns et les autres provenant de diverses usines anglaises et américaines.

Les résultats de ces études sont publiés dans deux rapports, insérés dans les transactions de l'*American Institute of mining engineers*. Le premier est du mois d'août 1878 (*); le second, le plus important des deux, du mois de février 1881. L'un et l'autre ont donné lieu à de fort intéressantes discussions, dans lesquelles les conclusions de M. Dudley furent vivement attaquées par les ingénieurs et directeurs des usines à rails. Mais aussi, il faut bien l'avouer, M. Dudley a prêté le flanc aux objections, en ne se contentant pas de signaler la nature physique et chimique des *bons* et des

(*) Le premier mémoire se trouve dans le tome XII des *Transactions*, p. 172.

mauvais rails, ainsi que les conséquences directes qui en découlent. Il a cru devoir, en outre, établir une sorte de formule chimique très étroite, en dehors de laquelle les rails seraient réputés *mauvais*. Aux épreuves mécaniques, il veut ajouter, dans le cahier des charges, une formule chimique, oubliant, comme je viens de le rappeler, que les mêmes propriétés physiques peuvent être réalisées par des formules chimiques fort différentes. Si l'on ne connaît pas encore, d'une façon assez complète, l'influence précise de tous les éléments sur la nature de l'acier pour pouvoir fixer, dès maintenant, les limites en dehors desquelles un rail devrait être rebuté, on sait du moins, que plusieurs voies conduisent au même but, que des formules chimiques différentes peuvent donner des rails également résistants. Une formule chimique *unique* est d'autant moins logique que le *mode* de fabrication, le *travail mécanique* auquel le métal est soumis, et même le *profil* adopté ont également une notable influence sur les qualités bonnes ou mauvaises du rail.

Ces réserves faites, les analyses de M. Dudley restent. C'est un travail sérieux, dont il convient de tenir grand compte, si l'on veut découvrir les causes réelles de la plus ou moins longue durée des rails. Examinons donc successivement les deux mémoires.

Dans le premier, destiné surtout à constater les causes de la *rupture*, totale ou partielle, des rails, on a déterminé la nature physique et chimique de vingt-cinq rails, choisis dans la voie, après un service plus ou moins long. Ce sont, d'une part, des rails totalement brisés, ou simplement fissurés par écrasement (*crushed*); de l'autre, des rails demeurés en bon état de service, ou tout au plus usés par frottement. On a analysé l'acier de ces vingt-cinq rails, en n'y dosant toutefois que le carbone, le manganèse, le phosphore et le silicium, admettant de la sorte (à mon avis, un peu à tort) que le soufre, le cuivre et d'autres éléments ne

devaient s'y trouver qu'en minimes proportions, parce que, sans cela, des *criques* se seraient produites lors du laminage, ce qui aurait fait rebuter les rails. Par ce motif M. Dudley a supposé que les rails éprouvés ne devaient pas contenir ces autres substances en doses nuisibles.

Parallèlement à l'étude chimique, le métal des rails fut soumis à des essais mécaniques de traction et de torsion, poussés successivement jusqu'à la limite de l'élasticité et usqu'à la rupture.

Or, en comparant les résultats fournis par les treize rails cassés, ou fissurés, aux douze restés en bon état, ou simplement usés par frottement, on trouve que les premiers sont formés d'acier moyennement dur, cédant à des charges supérieures à 52 ou 53 kilog. par millimètre carré et s'allongeant (sur $0^m,127$) de moins de 20 p. 100; tandis que les douze rails non rompus sur la voie ont cédé sous des charges de 45 à 52 kilog., après allongement de plus de 21 p. 100. Les mauvais rails renferment, en général, plus de 1 p. 100 d'éléments étrangers, la moyenne étant :

Carbone	0,366	p. 100
Manganèse	0,521	—
Phosphore	0,132	—
Silicium	0,047	—
Total	1,065	—

soit 0,700 en dehors du carbone.

Les douze bons rails, au contraire, tiennent moins de 1 p. 100 d'éléments autres que le fer, et conduisent à la moyenne suivante :

Carbone	0,287	p. 100
Manganèse	0,369	—
Phosphore	0,077	—
Silicium	0,044	—
Total	0,777	—

soit 0,490 en dehors du carbone.

Il suit de là, ce qu'au reste on savait déjà, que les rails trop chargés d'éléments étrangers sont *aigres*, ou *cassants*, c'est-à-dire exposés à se briser sous le choc des roues d'un train, quoique la résistance statique et la dureté de l'acier soient plus grandes que dans les bons rails. A ce point de vue donc, on doit donner la préférence à l'acier pur et doux.

Jusque-là tout est bien, et si M. Dudley s'était contenté de cette conclusion générale, personne n'y aurait contredit, mais il est allé plus loin : il a conclu de ses analyes qu'un *bon* rail devait contenir :

Carbone	0,25 à 0,35	p. 100
Manganèse.	0,40 à 0,30	—
Phosphore, au plus .	0,10	—
Silicium, au plus . .	0,04	—

Et cette formule fut dès lors imposée aux fabricants de rails, dans les cahiers des charges de la *Pennsylvania Railroad C*[y].

Dire qu'un rail ne saurait être bon en dehors de cette formule inflexible, c'est évidemment dépasser le but. On peut citer de nombreuses analyses de bons rails contenant en particulier plus de silicium et de manganèse, et même plus de phosphore, pourvu que le carbone soit alors en proportion moindre.

A cette formule, M. Dudley en ajoute une autre, qui consiste à mesurer la force de résistance des rails par ce qu'il appelle les *unités phosphoriques* (*phosphoric units*). Il suppose que le phosphore est par excellence l'élément qui *durcit* et *aigrit* le fer (*hardener and britle-maker*). A chaque 0,01 p. 100 de phosphore contenu dans l'acier, il donne le nom d'*unité phosphorique;* puis il admet, un peu arbitrairement, et en tout cas sans preuves à l'appui, que 0,02 de silicium, 0,03 de carbone et 0,05 de manganèse doivent produire le même effet que 0,01 de phosphore;

en sorte que, pour avoir la somme totale des unités phosphoriques, il ajoute au nombre des centièmes p. 100 de phosphore, la moitié des centièmes de silicium, le tiers des centièmes de carbone et le cinquième des centièmes de manganèse. Ainsi l'on aurait, pour l'acier type du rail de la *Pennsylvania C°*, d'après la formule ci-dessus citée, les nombres d'unités suivants :

Pour le phosphore.	10
— carbone 1/3 (de 0,25 à 0,30). . . .	8 à 10
— manganèse 1/5 (de 0,30 à 0,40) . .	6 à 8
— silicium 1/2 (de 0,04)	2
Total.	26 à 30

Et de là M. Dudley tire la prescription, tout au moins singulière, que les rails ne doivent pas accuser au delà de 31 unités phosphoriques ! Je ne m'attarderai pas à combattre cette bizarre théorie ; j'observerai seulement qu'en agissant ainsi, M. Dudley semble admettre, comme notre compagnie du Midi, que les éléments qui engendrent la *dureté* causent par cela même le défaut de la *fragilité*. Le carbone, l'élément *acièrant* par excellence, qui accroît la résistance et la dureté du fer, sans développer la fragilité lorsqu'il est *seul* uni au fer, se trouve ainsi relégué par M. Dudley, comme le phosphore, parmi ce qu'il appelle les impuretés de l'acier (*impurities*, p. 175 de son rapport). Je ne veux pas dire que le silicium et le manganèse, ajoutés au carbone en proportions un peu fortes, ne contribuent également à l'aigreur, mais on sait par les expériences de Mazek (*) et par les résultats de la pratique que, dans des proportions limitées, le manganèse a plutôt sur l'acier une influence utile, et que le silicium n'est pas aussi nuisible que M. Dudley semble le croire. Je me borne donc à

(*) Extraits du mémoire de Mazek publiés par M. Gauthier. *Bulletin de l'Industrie minérale*, 2° série, t. IV.

retenir, du premier mémoire de M. Dudley, ce résultat, déjà important, que les rails *cassants* de la Pennsylvania-igne renferment, outre 0,366 p. 100 de carbone, 0,700 p. 100 d'éléments étrangers, parmi lesquels 0,132 p. 100 de phosphore, tandis que les *bons* rails contiennent, outre 0,287 p. 100 de carbone, seulement 0,490 p. 100 d'éléments étrangers, dont 0,077 p. 100 de phosphore ; en sorte que la fragilité des premiers semble bien ici devoir être attribuée à la trop forte dose de phosphore, ou, en général, à la proportion trop élevée des éléments étrangers. J'ajoute que s'il est utile, et même *nécessaire*, au fabricant de rails de connaître la composition chimique des *mauvais* rails, il faut bien se garder de lui imposer une formule déterminée; on doit simplement exiger des garanties de solidité, c'est-à-dire de sérieuses épreuves mécaniques. Or les essais mécaniques, ci-dessus résumés, prouvent que les *bons* rails sont relativement *doux*, puisque la résistance est au-dessous de 52 kilog. et l'allongement supérieur à 21 p. 100; tandis que les rails *cassants* ont une ténacité supérieure à 55 kilog. avec un allongement inférieur à 20 p. 100.

Dans ce premier travail, M. Dudley n'avait pas à se préoccuper de l'*usure* des rails par frottement, mais seulement de leur fragilité relative. Cependant, en examinant les douze rails non cassés, il fut frappé de leur usure inégale, et surtout de ce fait que, contrairement aux principes admis, c'étaient plutôt les rails *doux*, peu carburés, qui avaient subi la *moindre usure*. Il fut ainsi amené à rechercher si d'autres ingénieurs n'auraient pas observé des faits analogues. Or, en effet, deux mémoires anglais de 1875 et 1876 contiennent des observations à l'appui des conclusions, en apparence paradoxales, que je viens de rappeler.

En 1875, M. J. T. Smith, directeur général du grand établissement connu sous le nom de *Barrow Hematite Steel Works*, dans le Cumberland, lut à la Société des in-

génieurs civils de Londres (*) un mémoire dans lequel il proposait de mesurer la dureté des rails à l'aide d'un appareil faisant connaître la charge qu'exige le percement au poinçon (*punshing*) de trous pareils à ceux des éclisses. L'âme des rails à percer avait 3/4 de pouce (0m,019) d'épaisseur et le diamètre des trous était de 7/8 de pouce (0m,022). M. Smith soumit à cet essai trente rails Bessemer, qui avaient servi huit ans sur la principale ligne du *Furness railway*, servant au transport des hématites du Cumberland. D'après la grandeur de la charge, nécessaire au perçage des trous, M. Smith divisa les rails en *doux* et *durs*. Pour percer les premiers, au nombre de vingt, il avait fallu des charges variant entre 46 1/4 et 52 1/2 tonnes; pour le percement des dix autres, 56 3/4 tonnes à 82 1/2 tonnes. La moyenne pour les rails *doux* est de 49 tonnes; celle pour les rails *durs*, de 64 3/4 tonnes. Dans les premiers, la proportion de carbone était comprise entre 0,0028 et 0,0032, soit une moyenne de 0,0030; dans les derniers, entre 0,0036 et 0,0057, ou une moyenne de 0,0044. Eh bien, en comparant le poids des rails usés à leur poids primitif, M. Smith a trouvé, «contrairement à ce que l'on aurait pu supposer *à priori* », que les rails *doux* étaient *moins usés* que les rails durs. Le second mémoire est de M. *Price Williams*, concernant l'entretien des chemins de fer (**). M. Williams a mesuré l'usure par la perte de hauteur de la tête des rails. Il a calculé le trafic par chaque seizième de pouce de perte, et il a trouvé ainsi, pour sept rails d'inégale dureté, placés côte à côte, qu'un trafic de 10.055.000 tonnes a produit, sur trois rails *durs*, la même usure de 1/16 de pouce que 15.567.000 tonnes sur quatre rails *doux*.

Évidemment ces premières données ne suffisent pas

(*) *Proceedings of the Inst. of civil Engineers*, t. XLII, p. 60.
(**) *Proceedings of the Inst. of civil Engineers*, vol. XLVI, p. 147.

pour autoriser des conclusions générales de quelque valeur; mais ils doivent, du moins, attirer l'attention des ingénieurs sur la question. Et ce furent, en effet, ces premiers aperçus qui déterminèrent le conseil de la compagnie du *Pennsylvania-railroad* de charger aussi M. Dudley de l'étude spéciale de l'*usure* des rails. Le résultat de ce second travail fut communiqué à l'*American Institute of mining ingineers*, dans sa séance du mois de février dernier, tenue à Philadelphie; et, dès maintenant, je puis dire que les conclusions de cet important travail confirment réellement les observations précédentes, c'est-à-dire que les rails *durs* s'usent, en effet, plus rapidement que les rails *doux*.

Voici la marche suivie dans le second travail. Sur la voie du *Pennsylvania-railroad* on a choisi 64 rails ayant la plupart à peu près dix années de service. Seize furent pris dans des parties droites en palier, 16 dans des courbes en palier, dont 8 du côté inférieur et 8 du côté supérieur des courbes; 16 autres rails furent pris dans des parties droites en pente et 16 enfin dans les parties courbes en pente, dont 8 aussi du côté inférieur et 8 du côté supérieur des courbes. Dans chacune des quatre, ou plutôt des six catégories, l'une des moitiés fut choisie parmi les rails *fortement* usés, l'autre moitié parmi les rails *peu* entamés. Tous d'ailleurs étaient de *bons* rails qui n'avaient subi ni fracture ni écrasement (*crushing*).

Dans la tête de chacun de ces 64 rails on découpa des barrettes pour les essais de *torsion*, de *cisaillement* et de *traction*, et dans l'âme des rails, d'autres barrettes, ayant l'épaisseur même du rail et 1 1/2 pouce de largeur, pour les essais de *flexion*. Les barrettes pour les essais de *traction*, les seuls dont je rapporterai ici les résultats, avaient 5 pouces ($0^m,127$) de longueur entre les têtes et 3/4 de pouce ($0^m,019$) de diamètre. Lors des essais, les charges étaient successivement augmentées de 2.000. liv. (907 kil.) par pouce carré, soit $1^k,405$ par millimètre carré; et,

après chacune des charges partielles, on mesurait l'allongement au micromètre pour pouvoir fixer la limite d'élasticité.

On analysa l'acier de chacun des rails, comme dans le premier travail, en se bornant aussi, par les mêmes motifs, au dosage du carbone, du manganèse, du phosphore et du silicium. Pour pouvoir juger de l'usure des rails, le profil de chacun d'eux est figuré, dans le mémoire original, en grandeur naturelle avec le tracé ponctué du profil primitif. On peut constater ainsi que la déformation proprement dite est à peu près nulle, même dans le cas des rails les plus doux, et que la différence entre les deux profils provient bien uniquement de l'enlèvement du métal par frottement. L'usure elle-même a été déterminée en comparant le poids du yard courant des vieux rails à celui des rails neufs; mais comme le poids des rails sortant des forges n'est pas rigoureusement constant, et que celui des divers rails soumis aux études en question n'avait pas été déterminé lors de la pose, il a fallu y arriver indirectement. A cet effet, on a comparé l'aire du profil usé à l'aire du profil primitif, en se servant d'un planimètre intégrateur, et l'on a fixé directement la densité du métal de chaque rail, en pesant, à l'air et dans l'eau distillée, des sections normales d'un demi-pouce d'épaisseur de chacun de ces rails. On a pu arriver ainsi à la perte en métal par chaque yard courant des rails, et, en divisant ces chiffres par le nombre de millions de tonnes, représentant le trafic supporté par le rail, on trouve finalement la *mesure de l'usure*, c'est-à-dire la perte par million de tonnes. Pour un trafic de 40 à 50 millions de tonnes, la perte totale de poids par yard est généralement comprise entre 2 et 4 liv.; soit 1 à 2 kilog. par mètre courant; ce qui fait 20 à 40 grammes par mètre courant et par chaque million de tonnes de trafic. D'après les moyens employés pour déterminer les divers éléments de l'usure en question, M. Dudley estime,

à la suite d'une discussion raisonnée, l'erreur possible à moins de 1 1/2 p. 100, ce qui me paraît, en effet, plus que probable.

Le mémoire original contient, outre les profils en grandeur naturelle, ci-dessus mentionnés, une série de tableaux donnant, pour les 64 rails, les résultats individuels de toutes les épreuves auxquelles le métal fut soumis; un dernier tableau résume les moyennes des 12 catégories de rails, c'est-à-dire les moyennes de chacune des 6 catégories de rails *fortement* usés et celles des 6 catégories de rails *faiblement* usés, et finalement les deux moyennes générales des 32 rails *fortement* entamés et des 32 autres rails faiblement *usés*.

Au lieu de reproduire ces divers tableaux en mesures anglaises, je crois plus utile de me borner à un tableau résumé en mesures métriques.

Dans une première colonne je donne la perte de poids en grammes par mètre courant du rail et par chaque million de tonnes de trafic.

Les trois colonnes suivantes renferment les résultats des essais de traction, c'est-à-dire la résistance de rupture et la limite d'élasticité en kilogrammes par millimètre carré, ainsi que l'allongement d'une barrette de 127 millimètres au moment de la rupture. La cinquième colonne contient, en kilogrammes par millimètre carré, l'effort développé par le cisaillement, et la sixième en millimètres, ce que l'auteur appelle *detrusion* c'est-à-dire l'avancement de l'instrument tranchant au moment où la pièce est sur le point de céder, l'essai étant fait sur une barrette cylindrique de 5/8 de pouce de diamètre ($0^m,016$).

Je donne ces deux éléments, parce qu'ils permettent d'apprécier, jusqu'à un certain point la *dureté* du métal. La résistance au cisaillement est d'autant plus grande et la *detrusion*, d'autant plus faible que l'acier est plus dur. J'ai supprimé les colonnes relatives aux essais de

torsion et de flexion, moins importants que les précédents au point de vue de l'usure des rails. Dans les analyses chimiques, je supprime les *unités phosphoriques* de M. Dudley, et, à leur place, je donne les sommes des éléments étrangers; enfin, dans une dernière colonne, ces mêmes sommes moins le carbone. On peut juger ainsi du degré de *pureté* de l'acier, qui joue, comme nous le verrons, un rôle assez important dans la question de la durée des rails.

Enfin, j'ai réduit, dans le tableau ci-joint, les 12 catégories de rails à huit, en ne séparant pas les rails des courbes en palier de ceux des courbes en pente.

NOMBRE ET ORIGINE des rails.	PERTE de poids de 1 mètre courant de rails en grammes par million de tonnes de trafic.	ESSAIS de traction. Résistance par millim. carré en kilogrammes R.	Limite d'élasticité par millim. carré en kilogrammes L.	Allongement sur 127 millim. en centièmes a.	ESSAIS de cisaillement. Effort par millim. carré de section.	« Detrusion » en millim.	COMPOSITION CHIMIQUE DES ACIERS. Éléments par 100 de métal. C	Mn	Ph	Si	Total.	Total moins le carbone.	OBSERVATIONS.
Moyennes de 8 rails *peu* usés, provenant de paliers et de lignes droites	gr. 8,70	kilog. 50,9	kilog. 25,7	17,5	kilog. 40,0	millim. 2,36	0,282	0,455	0,104	0,056	0,897	0,615	
Moyennes de 8 rails *fortement* usés, provenant de paliers et de lignes droites.	29,75	56,1	26,7	14,5	44,7	2,31	0,381	0,675	0,115	0,046	1,217	0,826	
Moyennes de 8 rails *peu* usés, provenant de voies en pente et lignes droites. .	27,00	55,9	26,4	19,6	40,0	2,44	0,324	0,562	0,076	0,102	1,064	0,740	
Moyennes de 8 rails *fortement* usés, provenant de voies en pente et lignes droites.	43,05	57,1	25,7	15,6	43,2	2,03	0,379	0,669	0,095	0,051	1,195	0,816	
Moyennes de 8 rails *peu* usés, provenant de voies en courbes; rails *inférieurs*. .	20,97	50,3	23,3	19,7	39,2	2,40	0,337	0,432	0,060	0,036	0,865	0,528	
Moyennes de 8 rails *fortement* usés, provenant de voies en courbes ; rails *inférieurs*.	44,10	55,8	27,6	12,1	43,6	2,14	0,416	0,615	0,120	0,036	1,197	0,771	
Moyennes de 8 rails *peu* usés, provenant de voies en courbes; rails *supérieurs*.	44,60	54,0	25,7	11,7	42,5	2,29	0,391	0,516	0,066	0,046	1,019	0,628	**L'acier de quelques rails présente un allongement exceptionnellement faible.**
Moyennes de 8 rails *fortement* usés, provenant de voies en courbes ; rails *supérieurs*.	88,65	56,4	27,1	11,7	43,3	2,24	0,386	0,630	0,092	0,054	1,162	0,776	

Si maintenant on étudie, avec quelque attention, les chiffres du tableau ci-contre, on reconnaîtra que, dans toutes les catégories sans exception, ce sont les rails en acier pur et doux qui ont perdu le moins de métal par le fait du passage des trains. Si nous comparons, par exemple, les rails provenant de paliers et de lignes droites, nous verrons que l'usure des rails durs est plus que triple de celle des rails doux ; celle-ci est de 8^{gr},70, et celle des rails durs de 29^{gr},75. La dureté plus grande de ces derniers est accusée par une différence en plus de 5^{k},2 sur la résistance de rupture, soit un dixième de celle du rail doux, un allongement moindre dans le rapport de $\frac{14,5}{17,5}$ et de 4^{k},7 sur la résistance au cisaillement; on constate, en outre, une limite d'élasticité plus élevée, une proportion de carbone de 0,381 contre 0,282 p. 100, et un total d'éléments étrangers autres que le carbone de 0,826 contre 0,615 p. 100.

L'usure absolue sur les pentes est plus forte qu'en palier, comme on devait s'y attendre.

Quant à la différence d'usure entre les deux sortes de rails provenant des pentes, on constate aussi la supériorité des rails doux, seulement la différence est ici moindre, mais aussi l'analyse et les essais mécaniques accusent un moindre écart entre les aciers doux et durs.

Les premiers contiennent 0,324 de carbone contre 0,379 et la somme des autres éléments étrangers est de 0,740 contre 0,816 p. 100.

La différence est de nouveau plus grande dans les courbes. L'usure des rails durs est double, et si l'on considère en particulier les rails de la ligne inférieure, on voit que l'usure croît notablement avec la dureté des rails; les charges de rupture et de cisaillement des rails durs sont de 55^{k},8 et 43^{k}, 6, et celles des rails doux de 50^{k},3 et 39^{k},2 ; d'autre part les teneurs en carbone et en éléments étrangers, de 0,416 et 0,771 p. 100 contre 0,337 et 0,528.

Par contre, l'écart de dureté est nul dans les rails de la partie haute des courbes, du moins si on la mesure par la teneur en carbone; cependant l'anomalie est en partie compensée par les éléments étrangers, qui atteignent respectivement 0,776 et 0,628 p. 100. Il n'y aurait, au reste, rien d'extraordinaire que les rails supérieurs des courbes ne se comportassent pas comme les autres, puisque là, comme cela se voit par les profils des rails usés, c'est surtout le côté *latéral* intérieur de la table qui se trouve entamé, par le rebord du bandage, sous l'action de la force centrifuge.

Enfin lorsqu'on compare l'ensemble des 32 rails durs aux 32 rails doux, on voit que l'usure des premiers est presque exactement le double : 51^{gr},40 contre 25^{gr},30, et que la différence de dureté est marquée par un surcroît de résissistance de 3^{k},5 à la rupture et de 2^{k},4 au cisaillement, par un écart d'allongement de 14,2 contre 17,1 p. 100, et, dans l'analyse chimique, par des teneurs en carbone et en éléments étrangers de 0,390 et 0,800 contre 0,334 et 0,628 p. 100. — Et ces différences seraient plus grandes si on laissait en dehors des moyennes générales les rails de la voie haute des courbes, soumis, comme je viens de le rappeler, à une usure d'ordre spécial.

En présence de ces résultats, il me paraît difficile de ne pas en conclure l'inexactitude de la théorie admise jusqu'à ce jour : *que les rails s'usent d'autant moins qu'ils sont plus durs.* En tout cas, si l'on objectait que le nombre des rails examinés est trop restreint pour autoriser une conclusion aussi générale, je rappelerai que non seulement les deux mémoires de M. Dudley sur 25 et 64 rails ont donné des résultats concordants, mais encore que ces résultats s'accordent avec les observations antérieures, ci-dessus mentionnées, faites en Angleterre par les ingénieurs J. T. Smith et Price Williams. L'ancienne théorie ne saurait donc plus être admise à moins de preuves contraires très posi-

tives. En Amérique même, dans la discussion soulevée par les mémoires de M. Dudley, la conclusion *principale* semble avoir été admise par la plupart des ingénieurs présents au meeting de Philadelphie. Ce qui fut critiqué avec raison, par les fabricants de rails surtout, c'est la prétention de vouloir renfermer l'acier pour rails dans une formule chimique fort étroite, et de ne pas se contenter des simples épreuves mécaniques. M. Dudley termine, en effet, son mémoire par cette simple conclusion : qu'il serait très rationnel (*entirely philosophic*) de prescrire dans le cahier des charges, pour la composition chimique des rails, la moyenne des 32 *bons* rails, telle qu'elle figure au tableau ; que cependant on peut accorder par tolérance la formule plus générale du premier rapport, c'est-à-dire :

Carbone . .	0,25 à 0,35 p. 100, ou plutôt autant que possible		0,30
Manganèse.	0,40 à 0,30	— — —	. 0,35
Phosphore.	0,10		
Silicium . .	0,04		
Soufre et cuivre sans prescriptions.			

Avant d'aller plus loin, résumons les principales objections faites à M. Dudley par les ingénieurs américains.

M. *Ashbel Welch*, ingénieur de chemin de fer, pense que la dureté de l'acier doit croître avec la charge par essieu. Il estime que l'acier *trop doux* pourrait *céder* sous le poids, comme le ferait un rail en plomb. Cela est bien évident; aussi M. Dudley ne propose-t-il pas un acier extra-doux. Il faut un acier suffisamment rigide pour ne pas se déformer sous le poids. C'est une limite à déterminer, et un point sur lequel je reviendrai. M. Ashbel avoue d'ailleurs que, sur son chemin de fer, les rails en acier *doux*, fabriqués à Sheffield avec des fontes de Suède, se sont mieux comportés que deux lots de rails *plus durs* venant de France.

M. *Hunt*, ingénieur ou directeur de la forge de Troy, condamne la formule de M. Dudley. Il déclare que la plupart des rails fabriqués depuis dix-huit mois renferment au moins

0,35 p. 100 de carbone et près de 1 p. 100 de manganèse; que leur résistance à l'usure n'est à la vérité pas encore connue, mais que, en tout cas, les lingots durs sont moins bulleux et se laminent mieux que ceux en acier doux. Il cite des rails très résistants, fabriqués à Troy, qui renferment :

Carbone	0,40	p. 100
Manganèse.	0,85 à 095	—
Phosphore.	0,08 à 0,085	—
Silicium	0,05 à 0,6	—

M. *Hunt* déclare, en terminant, avec beaucoup de raison, qu'aussi longtemps que les maîtres de forge ont à garantir la durée des rails, ils doivent être libres de fixer la nature chimique du métal.

M. *Sellers* estime aussi qu'on ne peut imposer à la fois une composition *chimique* et des essais *mécaniques*. Il faut l'un ou l'autre.

M. *Metcalf*, fabricant d'acier au creuset, déclare que le carbone est le véritable élément aciérant (*hardener*), et qu'il faut bien se garder de l'assimiler aux autres éléments étrangers de l'acier.

M. *Kent* fait une critique très vive du travail de M. Dudley. Ses conclusions ne seraient pas justifiées, l'analyse chimique étant incomplète et les causes, qui influent sur la durée des rails, par trop multiples. Il montre que la formule chimique est inadmissible lorsqu'on impose en même temps des essais mécaniques; il constate, entre autres, que sur les 64 rails analysés, 3 seulement, et non les 32 réputés bons, remplissent rigoureusement les conditions chimiques prescrites. Malgré cela, tout en critiquant la formule chimique de M. Dudley, il vérifie lui-même, et presque à son insu, la réalité des conclusions générales, c'est-à-dire l'*usure plus forte des rails durs*. Il a recherché, en effet, parmi les 64 rails de M. Dudley, les 18 plus

mauvais au point de vue de l'usure, ceux qu'il appelle *worst*, parce qu'ils ont perdu en moyenne 66gr,30 par mètre courant et par million de tonnes.

Or la composition moyenne de l'acier de ces 18 rails est, d'après son propre relevé, de :

Carbone.	0,412	
Manganèse	0,677	soit, pour le poids des éléments étrangers en dehors du carbone : 0,826.
Phosphore	0,109	
Silicium.	0,040	
Total.	1,268	

chiffres qui montrent bien que ces 18 rails sont à la fois plus durs et plus *impurs* que la moyenne des 32 *mauvais* rails.

Ces derniers renferment, en effet :

Carbone.	0,390
Manganèse	0,647
Phosphore	0,106
Silicium	0,047
soit un total de.	1,190
ou, en éléments étrangers, en sus du carbone	0,800

M. *Kent* pense, en résumé, que le travail de M. Dudley devrait être continué par le concours de plusieurs compagnies, et qu'il faudrait éprouver et analyser une centaine au moins de rails plus ou moins usés. C'est la meilleure preuve que, malgré sa critique un peu vive, il apprécie à sa juste valeur l'important travail de M. Dudley.

M. *Cloud*, ingénieur chargé des ateliers de réparation de la *Pennsylvania Cy*, estime que l'usure peut être étudiée aussi bien, et peut-être mieux, sur les bandages des roues motrices que sur les rails. Or, au retour des bandages dans les ateliers, il a parfois constaté des différences de 1 à 2 pouces (2,5 à 5 centim.) dans les diamètres de deux bandages appartenant au même essieu, et c'est tou-

jours le bandage *dur qui est alors le plus usé.* Ces différences se rencontrent rarement, ajoute-t-il, parce qu'en général les fabricants de roues placent sur le même essieu des bandages d'égale dureté; mais il y a des exceptions, et c'est alors qu'on peut constater le fait de l'usure inégale qui a toujours lieu dans le sens ci-dessus indiqué.

M. *J. Reese*, de Philadelphie, insiste sur ce point, trop oublié en effet, que le carbone *seul* augmente la *ténacité* du fer en même temps que la dureté; que les autres éléments, en accroissant la dureté, développent la *fragilité*, ou l'*aigreur;* qu'il ne faut donc pas confondre le carbone avec les autres éléments. C'est l'excès de ces derniers qui faciliterait l'usure des rails.

M. *Chanute*, l'un des ingénieurs les plus distingués des railways américains, approuve les conclusions générales de M. Dudley; il est, dit-il, sur la *bonne voie*; il demande que le travail soit continué; que d'autres compagnies fassent aussi analyser les rails qui se sont le *mieux* et le *plus mal* comportés. Il s'élève seulement, comme les fabricants de rails, contre la prétention des compagnies de chemins de fer, de vouloir enseigner aux maîtres de forges l'art de fabriquer de bons rails. Elles doivent se contenter de contrôler les produits et de donner aux fabricants les renseignements les plus complets sur la nature chimique et physique des rails qui ont le mieux résisté au trafic.

En résumé, on le voit, personne n'a sérieusement critiqué la conclusion générale que *les rails doux s'usent moins que les rails durs*, mais tout le monde s'est élevé contre la prétention de vouloir formuler, dans un cahier des charges, la nature chimique de l'acier des rails. Il faut laisser à chacun son métier. Au fabricant de choisir les matières premières et le mode de fabrication, au consommateur de dire les propriétés mécaniques des rails, essieux et bandages qu'il considère comme bons; sauf à fixer peut-être, comme nous le verrons, une certaine pureté de métal. Cela dit,

revient la question, quel est le *degré de douceur* ou de *dureté* qui correspond au maximum de durée des rails? Comme je l'ai déjà dit, on ne peut songer à l'acier *extra-doux*, au *fer doux fondu*, au métal que l'on recherche pour les chaudières à vapeur, et les coques de navires. Il se déformerait sous la pression, il ne serait pas suffisamment rigide. Il faut un métal plus résistant et plus dur. S'il s'agissait d'acier *pur*, d'acier au *creuset*, *simplement carburé*, on pourrait, sans nul doute, adopter un métal relativement dur, parce qu'alors la dureté est alliée à la ténacité (*); mais comme il s'agit d'acier *commun*, plus ou moins souillé d'éléments étrangers, la dureté implique toujours un certain degré d'*aigreur*, ou de *fragilité*, qui non seulement favorise les *ruptures*, mais aussi, comme on vient de le voir, l'*usure* des rails. Au fond, ce n'est donc pas la dureté proprement dite qui est à craindre, mais bien celle qui est due aux *impuretés*. Plus un rail contient d'éléments étrangers, plus vite il s'use. Il faut donc que l'acier pour rails ne renferme, outre le carbone, que la proportion strictement nécessaire d'éléments étrangers pour lui donner une certaine dose de rigidité sans fragilité. Cette dose-limite varie avec celle du carbone. Plus l'acier renferme de carbone, moins il supporte d'éléments étrangers sans devenir fragile (*aigre*). C'est ce que Terre-Noire a prouvé pour le phosphore et M. Mazek pour le silicium; et c'est aussi ce que l'on constate pour le manganèse, quoique son influence délétère soit moins prononcée et qu'il puisse même jusqu'à un certain point, lorsqu'il y a peu de carbone, corriger les défauts provenant du phosphore et du silicium. Par suite, on ne saurait fixer un minimum

(*) Je rappellerai ici que si la dureté entraînait l'aigreur, il faudrait à tout jamais exclure les fils d'acier des câbles de mines. Or on sait qu'en Allemagne on préfère les câbles en acier aux câbles en fer, mais aussi on ne se sert pour ces câbles que d'*acier carburé* pur fondu au creuset.

invariable comme dose d'éléments étrangers. — Ce minimum pourra être plus élevé si la dose de carbone est faible, et devra être moindre lorsque la proportion de carbone sera forte. Enfin les doses relatives de manganèse, de phosphore et de silicium, doivent aussi influer sur la durée des rails dans une mesure qu'il serait d'ailleurs impossible de fixer aujourd'hui.

Cela dit, il résulte pourtant des recherches de M. Dudley, qu'en tout cas, les aciers pour rails devraient être assez doux pour rompre par traction dès la charge de 50 kilog. au millimètre carré, l'allongement étant de 16 à 20 p. 100 sur 100 millimètres, et l'on voit que, dans ce cas, pour une teneur de 0,30 p. 100 de carbone et 0,10 p. 100 de phosphore, le total des éléments étrangers ne doit guère excéder 0,60 p. 100. Mais n'y aurait-il pas avantage à descendre plus bas encore, c'est-à-dire d'avoir recours à des rails plus doux et plus purs? Nul ne saurait le dire positivement dans l'état actuel de nos connaissances. Mais cela doit paraître assez probable, puisque aucun des rails à 50 kilog. de ténacité ne s'est déformé sous la charge des trains, et ne semble avoir manqué de rigidité. Seulement ces rails plus doux et plus purs seraient probablement plus coûteux; il faudrait des minerais tout à fait supérieurs, et la fabrication serait plus difficile. On peut donc, quant à présent, considérer cette limite comme peu éloignée de celle à laquelle il convient de se tenir dans la pratique. En tout cas, on voit que non seulement les rails français, dont la ténacité est le plus souvent comprise entre 60 et 70 kilog., mais même les rails allemands et autrichiens, dont la résistance à la rupture par traction paraît généralement comprise entre 55 kil. et 60 kil., sont plus durs que ceux qui résistent le mieux à l'usure, d'après les recherches de M. Dudley. En France surtout, il conviendrait d'adopter pour les rails un acier plus doux que celui que les compagnies de chemins de fer exigent jusqu'à pré-

sent des maîtres de forges. Ou si les directeurs de ces compagnies avaient encore quelques doutes sur le bien fondé des conclusions de M. Dudley, il vaudrait la peine qu'elles chargeassent, comme le fit la direction du *Pennsylvania Railroad*, des ingénieurs chimistes d'un travail analogue. Elles pourraient aussi demander aux forges de fabriquer une série de rails du même type, mais de résistance et de dureté croissantes, pour les placer en des points très fatigués de la voie, ce qui permettrait de trancher sûrement la question en peu d'années.

Mais pourquoi, contrairement aux théories admises jusqu'à ce jour, l'acier doux résiste-t-il mieux à l'usure que l'acier dur ?

M. Dudley observe que ni les rails, ni les jantes des roues ne sont parfaitement lisses, que les surfaces de contact peuvent être considérées comme pourvues de dents infiniment petites, grâce auxquelles les roues s'avancent à la façon d'une roue dentée le long d'une crémaillère. Or, plus l'acier est *dur*, ajoute M. Dudley, plus il est *cassant ;* donc les protubérances infiniment petites sont exposées à se briser d'autant plus facilement qu'elles sont plus dures ; de là l'usure. J'observerai de nouveau que, cela n'est vrai que pour l'acier *impur*, et non pour celui qui serait uniquement carburé. Il serait donc plus vrai de dire que les dents infiniment petites des surfaces rugueuses des rails doivent se briser d'autant plus facilement, et, par suite, s'user d'autant plus rapidement, que l'acier est plus *impur*. Ce peut être là, en effet, l'une des causes du meilleur service rendu par l'acier doux, mais ce n'est certainement pas la cause unique, ni même, je le crois du moins, la cause principale. Une cause d'usure plus énergique est la *rouille*, ou l'oxydation par l'air humide. Les rails se rouillent, et même la table, rendue brillante par le passage incessant des trains, plus que le reste. Cela peut paraître paradoxal, mais cela est. Les parties latérales des rails

se couvrent d'une croûte de rouille, qui bientôt est assez épaisse pour former une sorte d'enduit protecteur, tandis que la table est sans cesse *décapée* par le passage des trains, et rendue par là d'autant plus oxydable. La rouille proprement dite, c'est-à-dire le peroxyde hydraté, n'a pas le temps de se développer, mais le protoxyde, ou le sous-oxyde, ne s'en forme pas moins d'autant plus activement que la surface est mieux décapée. Cette pellicule oxydée est plus friable que le métal intact; donc l'oxydation favorise l'usure. Or cette oxydation est d'autant plus énergique que l'acier est plus *impur* et surtout plus *manganésifère*. Le manganèse, en effet, est plus oxydable que le fer, et l'on sait que les gueusets de fonte manganésifère (de *spiegel*) se couvrent plus rapidement d'une épaisse croûte d'un noir-brun foncé que les fontes ordinaires. Et, quant à l'impureté en général, les expériences de l'habile constructeur Adamson, de Manchester prouvent nettement que le fer et l'acier sont d'autant plus oxydables qu'ils sont plus impurs. Voici le résumé de ses expériences, faites en vue de constater la force de résistance des diverses sortes de fer et d'acier à l'action corrosive de l'eau de mer (*).

M. Adamson a plongé, dans de l'eau, acidulée par 1 p. 100 d'acide sulfurique concentré, une série de plaques de fer et d'acier de même poids et de même surface, préalablement dépouillées à la lime et à la meule sèche de tout oxyde adhérent. Ces plaques furent laissées dix-sept jours dans cette eau acidulée, mais repesées toutes les vingt-quatre heures pour constater les progrès de la corrosion. Eh bien, ces expériences prouvent que le métal est d'autant moins attaqué qu'il est plus pur; et quoique l'oxydation soit ici aidée par l'acide, il est pourtant évident que les conditions ne diffèrent guère de celles de l'air, où l'eau et l'acide carbonique doivent agir sur le fer à la façon de l'eau légèrement sulfurique.

(*) *Journal of the iron and steel Institute*, 1878, p. 398.

Je me contente de citer les résultats les plus saillants.

Le fer soudé ordinaire (*puddlé*), tenant 1,20 p. 100 de matières étrangères, — celles-ci étant surtout composées de phosphore et de scories, — a perdu en 17 jours 79 p. 100 de son poids primitif.

La tôle de chaudière en bon fer soudé de la forge de Tudhoë . . . . 46,4 p. 100
La tôle en fer soudé supérieur (*best-best*) de la même usine . . . . 34,7 —

L'acier Bessemer, *moyennement dur*, 13 p. 100. Il contenait :

Carbone.	0,330 p. 100	Phosphore. . . .	0,075 p. 100
Manganèse . . .	1,008 —	Soufre.	0,022 —
Silicium.	0,065 —	Total.	1,500 —

L'acier Bessemer *doux*, seulement 4,8 p. 100. Il contenait :

Carbone.	0,115 p. 100	Phosphore. . . .	0,037 p. 100
Manganèse . . .	0,504 —	Soufre.	0,028 —
Silicium.	0,055 —	Total.	0,739 —

Enfin le fer fondu pur, ne contenant que 0,040 de phosphore avec de simples traces de carbone, manganèse, silicium et soufre, a perdu moins encore que l'acier Bessemer doux.

L'influence des impuretés, et du manganèse en particulier, est ici évidente ; aussi M. Adamson en conclut-il qu'il faut préférer, pour les coques de navires, la tôle d'acier à la tôle de fer soudé ; et qu'en fait d'acier fondu, il faut choisir le métal le moins carburé et le moins manganésé. Or n'est-il pas évident que les rails aussi s'oxyderont d'autant moins qu'ils seront plus *purs*, c'est-à-dire plus doux, et ne doit-on pas en conclure que, si les rails doux *s'usent* moins que les rails durs ou plutôt *impurs*, cela tient à l'action corrosive plus énergique de l'air humide sur ces derniers ? Il faudrait surtout éviter une trop forte proportion de manganèse dans les rails, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des forges depuis quelques années.

Le fait suivant, que je tiens de M. Talabot, prouve, en tout cas, l'action funeste de l'humidité.

Dans le long tunnel de la Nerthe, près de Marseille, où la voie est droite et horizontale, les rails en acier fondu ne durent que sept à huit ans, tandis qu'ils résistent le double de temps en dehors, au contact de l'air sec de la Provence. L'influence de la rouille n'est-elle pas ici évidente, et ne faudrait-il pas, sur ce point surtout, des rails en acier doux et pur? Il est évident que, dans l'atmosphère confinée du tunnel, l'acide carbonique de la fumée doit être en partie absorbé par l'eau, qui devient ainsi plus corrosive.

Passons maintenant de la nature du métal à la *forme* du rail, ou plutôt voyons si la nature du métal ne devrait pas varier avec le profil adopté?

L'acier se comporte autrement au laminage que le fer doux. Celui-ci n'est pas exposé à durcir lorsqu'on le lamine un peu froid, tandis que l'acier se trempe au contact même des cannelures, et durcit alors d'autant plus que la barre est plus mince. D'après cela, il est bien évident que les bords du patin sont plus exposés à durcir que la tête.

Les profils des rails Vignole furent étudiés primitivement en vue du fer doux. On a pensé avec raison qu'à poids égal il valait mieux renforcer la tête que le pied, de sorte que l'on a aminci les bords du patin jusqu'à 6 et 5 millimètres. Cette faible épaisseur offrait déjà une certaine difficulté lors du laminage des rails en fer soudé. Le bord refroidi se *criquait* facilement, mais le métal du moins n'était pas trempé. Il en est autrement pour l'acier. Lorsque les cannelures sont bien établies et que le métal est bon, il n'y a pas de criques, mais les bords du patin se trempent. Le métal est alors dans une tension moléculaire fort inégale, qui nuit à sa solidité; il se rapproche des larmes bataviques; un faible choc, et, en tout cas, la moindre entaille ou blessure du bord du patin, suffit, le plus souvent, pour qu'un coup de marteau, et même la

plus simple chute du rail, entraîne sa rupture immédiate. On reconnaît alors, par la couleur et la finesse du grain, que le métal est réellement trempé le long des bords minces du patin. Il faut donc ou rendre l'acier moins dur, ou renforcer les bords du patin. Il suit de là qu'un acier convenable pour les rails à double champignon peut être trop dur pour les rails à patin.

Au reste, par la nature même des choses, les difficultés croissent dès que l'acier est dur. Dans ce cas, en effet, le métal devient cassant à une température élevée; sa malléabilité diminue à mesure que sa dureté augmente; il faut donc chauffer le lingot, pour le laminage, à une température moindre, tandis que, d'autre part, il faut un plus grand nombre de passages pour arriver à la cannelure finale, ce qui est une nouvelle cause de refroidissement. Bref, lorsque l'acier est dur le travail est plus long, à moins que les cylindres ne marchent plus vite, et presque toujours le métal arrive refroidi à la dernière cannelure, et s'y trempe alors si la barre est mince. Ce défaut se manifeste d'une façon frappante dans les forges où, comme à Beaucaire, on fabrique tour à tour des rails Vignole et des rails à double champignon. Quoique l'acier des rails à patin de la Compagnie P. L. M. soit moins dur que celui des rails à double champignon de la compagnie du Midi, le nombre des barres, rompues lors de la pose par la simple manutention, et renvoyées à l'usine par ce fait, est huit à dix fois plus considérable pour les rails à patin que pour les rails à double champignon. Les premiers demanderaient donc, je le répète, un acier moins dur et un patin moins aminci sur les bords.

Il est un autre point qui favorise la fragilité des rails à patin et me paraît devoir réclamer une réforme immédiate. Pour pouvoir mieux adapter les éclisses, la plupart des compagnies françaises donnent au patin un profil à double pente. La partie voisine de l'âme fait un angle plus grand

avec l'horizontale que celle qui est voisine du bord aminci. La partie supérieure du pied présente ainsi de chaque côté de l'âme une sorte de sillon ou de *gouttière* longitudinale (voyez Pl. II, *fig.* 8). A cette gouttière correspond une dimition d'épaisseur par trop brusque et, par suite, une transinution peu ménagée de la partie épaisse non trempée à celle qui a subi la trempe. C'est évidemment une cause de faiblesse et de rupture. Au lieu d'un angle rentrant formant la gouttière, il faudrait passer graduellement d'une pente à l'autre à l'aide d'une courbe, ou mieux encore, comme en Amérique, adopter un plan incliné unique, de façon à supprimer complètement la gouttière en question. Dans le profil de la *fig.* 8, il faudrait adopter la ligne droite *ab* au lieu de la ligne brisée *acb*.

Il faudrait, de plus, qu'en amont du congé qui relie la ligne *a b* au bord vertical, l'épaisseur du pied ne soit pas, dans les forts rails, pesant 32 à 38 kilog. le mètre courant, au-dessous de 8 à 10 millimètres. Enfin, le bord trop mince du pied présente un autre inconvénient qu'il importe de signaler. Le laminage d'une barre à profil inégal, comme les rails, exige que les cannelures soient calculées de façon à réduire, autant que possible *dans le même rapport*, les sections transversales de la tête, de l'âme et du pied, et cette proportionnalité est d'autant plus nécessaire que le métal est plus aciéreux, c'est-à-dire moins susceptible de refluer, au moment du laminage, d'une partie du profil vers l'autre. La nécessité du laminage exige donc que a largeur du pied soit progressivement diminuée. De la argeur primitive de 16 centimètres, par exemple, on doit arriver à la largeur finale de 10 centimètres. Le métal du bord se trouve ainsi refoulé vers le milieu. Tant que l'acier est encore mou, cela se fait sans difficulté ; mais si, à cause de la dureté du métal, il faut laminer un peu froid, on verra les bords minces du pied se tremper lorsque le métal voisin de l'âme sera encore mou ; alors le bord sera re-

foulé et comme enfoncé, sous forme de coin solide, dans la région centrale semi-fluide, et cet effet sera nécessairement plus prononcé dans le cas du profil *acb*. On peut très bien constater le fait en examinant la face inférieure du patin des rails. On voit souvent sous le rail deux légères nervures dans la partie correspondante à la gouttière, et lorsqu'on casse le rail on peut même observer, sur ce point, le passage assez brusque de la zone trempée à celle qui ne l'est pas. Il y a évidemment là une tension moléculaire très inégale qui explique les ruptures sous l'action de chocs un peu violents. On évitera certainement ce danger en renforçant le bord du patin, en supprimant le profil en gouttière, et surtout en n'imposant pas aux fabricants un acier trop dur.

Avant de finir, puisque j'en suis au profil des rails, je voudrais recommander aux compagnies françaises, à l'instar de ce que l'ingénieur A. Holley a fait récemment aux États-Unis (*), de se concerter entre elles pour adopter un petit nombre de types communs. Si les maîtres de forges n'avaient qu'un nombre restreint de types à laminer, toujours les mêmes, il est évident qu'ils pourraient les fournir meilleurs et à meilleur marché. M. Holley montre que les 119 (!) profils différents de rails à patins, usités en Amérique, pourraient très bien être remplacés par 10 à 12 dont les poids varieraient de 30 livres par yard jusqu'à 72 livres.

Au reste, il ne m'appartient pas d'entrer dans la critique de nos profils ; j'observerai seulement, avant de me résumer, qu'en Amérique on a été amené, par l'observation du profil, que prennent les têtes des vieux rails sous l'action du rebord saillant des bandages, à substituer aux têtes à parois latérales *verticales* (*fig*. 8) des têtes à parois *inclinées* (*fig*. 9). N'y aurait-il pas avantage à adopter un profil analogue en France? Je me borne à poser la question, et

---

(*) *Transactions of the Philadelphia meeting* de février 1881.

me hâte de résumer la discussion précédente au sujet de *l'usure* et de *la durée* des rails.

Il semble à peu près établi :

1° Que les rails en acier *doux*, offrant une résistance d'au plus 50 kilog. à la traction, s'usent moins et durent plus longtemps que les rails en acier dur usités en France ;

2° Que cette usure plus rapide des rails en acier *dur*, ou plutôt *impur*, est surtout due à l'oxydabilité plus grande du fer lorsqu'il est uni à des éléments tels que le manganèse, le silicium et le phosphore ; que sous ce rapport, comme sous tous les autres, il faut donner la préférence à l'acier pur ;

3° Que l'acier des rails à double champignon peut, sans inconvénient, être plus dur que celui des rails à patin, mais qu'il ne faut jamais imposer la singulière condition de la rupture sous une certaine hauteur de chute, condition qui implique une plus grande *impureté* de l'acier ;

4° Que, pour éviter la fragilité relative des rails Vignole, il faut que les bords du patin ne soient pas trop minces, pas au-dessous de 8 à 10 millimètres, et que la surface supérieure du patin n'offre pas une sorte de double gouttière longitudinale. Il faut éviter, en un mot, tout ce qui tend à favoriser la trempe des parties minces des rails lors du laminage ;

5° J'ajouterai qu'il serait à désirer que les compagnies de chemins de fer s'entendissent pour l'adoption d'un petit nombre de types communs, et que, si elles conservaient encore quelque doute sur le bien fondé des conclusions précédentes, elles chargeassent une commission d'ingénieurs et de chimistes de l'étude complète de toutes les causes qui peuvent influer sur la vie des rails, en invoquant au besoin le concours des forges dans la mesure ci-dessus signalée p. 199.

NOTE SUR LES EXPLOSIONS SURVENUES DANS LES HOUILLÈRES DE SEAHAM ET DE PENYGRAIG

Par M. L. AGUILLON, ingénieur des mines.

Les deux dernières grandes catastrophes survenues dans les houillères anglaises, l'une à Seaham, le 8 septembre 1880, et l'autre à Penygraig, le 10 décembre suivant, ont vivement préoccupé l'opinion publique en Angleterre et attiré particulièrement l'attention des savants et des ingénieurs. Ce n'est pas seulement le nombre considérable des victimes, 164 à Seaham et 101 à Penygraig, qui a donné cette importance à ces accidents, mais surtout les circonstances dans lesquelles ils se sont produits et les discussions auxquelles ils ont donné lieu. Dans l'un et l'autre notamment, le rôle des poussières charbonneuses dans les explosions de mines s'est trouvé soulevé de nouveau et a été agité par des personnes autorisées. Nous avons déjà reproduit ici (*) le travail spécial fait par le professeur Abel, sur la demande du gouvernement, à l'occasion de la catastrophe de Seaham. A Penygraig, il s'est trouvé que la première personne descendue dans la mine après l'accident a été M. William Galloway, lequel a suivi dès la première heure et a dirigé même au début tous les

(*) *Supra*, page 121.

travaux de sauvetage et de rétablissement de la mine (*). A la suite des constatations et des observations très minutieuses qu'il lui a été ainsi donné de faire dans des conditions exceptionnellement favorables, M. W. Galloway a été amené à soutenir, dans une déposition fortement motivée, que la catastrophe de Penygraig devait être attribuée presque exclusivement aux poussières charbonneuses.

D'autre part, Seaham et Penygraig représentent deux types de houillères anglaises essentiellement différents à tous égards.

Seaham est une mine fort ancienne où les travaux se sont étendus dans tous les sens à de très grandes distances, autour des deux puits très rapprochés par lesquels se fait l'exploitation. Penygraig est une mine ouverte depuis fort peu de temps, dont les deux puits sont situés à chacune des extrémités du champ d'exploitation.

Seaham, comme nous l'avons déjà dit en reproduisant le rapport du professeur Abel, était une des mines les plus renommées dans ce bassin modèle du nord de l'Angleterre, pour sa ventilation, sa direction, sa surveillance et la discipline de ses ouvriers. Dans la longue et minutieuse enquête faite devant le *coroner*, où tous les intérêts étaient fortement représentés, il n'a pas été élevé le plus petit grief contre le personnel de la direction et de la surveillance ou contre celui des ouvriers. A Penygraig, au contraire, l'enquête a établi l'insuffisance notoire du personnel de la direction et de la surveillance (**).

(*) M. William Galloway habitait à cette époque à la houillère de Dinas, dont il dirigeait l'exploitation, qui est limitrophe avec celle de Penygraig.

(**) Le *manager* responsable ou directeur titulaire était un neveu des propriétaires ; il a produit un certificat dont la validité a paru très suspecte. Il était soi disant aidé par son père qui semblait en fait, sinon en droit, diriger au même titre que son fils. Ce père était un ancien praticien qui n'avait pas de certificat légal pour être *manager* et qui avait eu déjà, dans les houillères où il

Seaham était aéré par foyers; Penygraig par ventilateur. On exploitait à Seaham par la méthode des galeries et piliers en battant en retraite vers les voies maîtresses et les puits; à Penygraig, par le vrai *long wall* s'éloignant des voies maîtresses.

Seaham est dans un district considéré comme relativement peu grisouteux, où les accidents de grisou, surtout les grandes catastrophes, sont extrêmement rares et la houillère était loin de passer pour une des mines les plus grisouteuses de ce district. Le district dans lequel est situé Penygraig est un des plus dangereux de l'Angleterre et un de ceux où les catastrophes ont été les plus nombreuses et les plus importantes.

Pour tous ces motifs il nous a paru qu'il y aurait un certain intérêt à faire connaître, avec quelques détails, en les rapprochant les unes des autres, les circonstances dans lesquelles ces deux accidents étaient arrivés et les discussions auxquelles ils ont donné lieu en Angleterre. Le rapprochement est de nature à suggérer certaines observations sur des pratiques qui, admises couramment dans l'aménagement et l'exploitation des houillères anglaises, ne cadrent nullement avec les principes généralement préconisés en Belgique et en France, pays où les conditions de gisement, et par suite d'exploitation, sont, il est vrai, assez différentes.

Les renseignements donnés dans notre travail sont tirés, pour la majeure partie, des enquêtes des *coroners* et des rapports officiels qui ont été déposés au Parlement comme « *blue books* », fort volumineux, soit dit en passant. Nous les avons complétés par d'obligeantes communications qui nous ont été faites par M. Thomas Bell, inspecteur royal

---

avait passé auparavant, deux explosions à la suite de l'une desquelles il avait été condamné comme homicide par imprudence. Trois des quatre maîtres-mineurs et quatre des cinq chefs de poste ne savaient pas écrire.

des mines du Durham, pour tout ce qui est relatif à Seaham, et par M. William Galloway, pour Penygraig. Nous saisissons avec empressement cette occasion pour remercier à nouveau ces messieurs de leur extrême obligeance.

Nous avons d'ailleurs visité nous-même la mine de Seaham, quatorze jours seulement après la catastrophe, au cours de la mission qui nous avait été confiée, avec M. Pernolet, par la commission du grisou. Si nous n'avons pas visité la houillère de Penygraig, nous avons examiné, guidé par M. William Galloway lui-même, les mines voisines ou contiguës de Dinas et de Llwynpia où l'on exploite les mêmes couches qu'à Penygraig. Les études que nous avons pu faire ainsi personnellement sur place nous permettront d'ajouter nos propres observations aux renseignements et opinions des documents anglais.

Nous avons consacré un paragraphe spécial à chacun des deux accidents.

Nous demandons la permission de renvoyer à différentes reprises, au cours de ce travail, au rapport de mission que nous avons rédigé, avec M. Pernolet, sur *l'exploitation et la règlementation des mines de houille en Angleterre*. La présente note n'en est, à vrai dire, qu'une annexe qui était destinée à être mise sous les yeux de la commission du grisou.

I

EXPLOSION DE SEAHAM

Situation et consistance de la mine. — La houillère de Seaham est située près de Seaham Harbour, dans le comté de Durham, à deux kilomètres et demi environ de la mer du Nord.

L'exploitation y est faite par deux puits *a* et *b* situés à 137 mètres de distance l'un de l'autre, qui ont recoupé,

comme le montre la *fig.* 2, Pl. IV, les six couches suivantes du toit au mur :

	PROFONDEUR au-dessous du sol en mètres.	PUISSANCE des couches en mètres.
Main-Coal-Seam	398	1,676
Maudlin-Seam	417	2,50 à 3,00
Low-main-Seam	423	inexploitée
Hutton-Seam	466	1,00
Harvey-Seam	514	1,00
Busty	548	1,37

Ces couches, dirigées dans l'ensemble du nord au sud, plongent, en moyenne, de 1/24 vers l'est. Ainsi que le représente la *fig.* 2 et les plans (*fig.* 1, Pl. IV, et Pl. III), une faille dirigée O.-N.-O. — E.-S.-E., passant à 140 mètres au N.-E. du puits *a*, rejette les couches de 30 mètres vers le nord-est.

Les deux puits *a* et *b* servaient tous deux à l'extraction. Le puits *a*, dit puits n° 1 et n° 2, était divisé par une cloison en deux compartiments d'extraction distincts, desservis chacun par des cages et des machines d'extraction spéciales : le compartiment constituant le puits n° 1, desservait exclusivement l'étage principal de 466 mètres ; le compartiment constituant le puits n° 2 l'étage du fond.

Le puits *b*, dit puits n° 3, n'avait également qu'un accrochage au niveau de l'étage de 466 mètres.

Il n'y avait pas d'accrochage pour le niveau supérieur de 398 mètres ; tous les charbons de cet étage étaient descendus à l'étage inférieur de 466 mètres par une balance installée dans le faux puits *c* situé à 230 mètres du puits n° 3.

Le puits *a* servait en totalité à l'entrée de l'air et le puits *b* à sa sortie, l'aérage étant fait par foyers, ainsi qu'il sera expliqué ultérieurement.

Ces deux puits ont chacun 4^{m},268 de diamètre.

L'exploitation se faisait à trois niveaux.

Au niveau principal, à 466 mètres de profondeur, il y avait trois grands districts d'exploitation : deux dans la couche Hutton, au mur de la faille, l'un au sud, dit Hutton n° 1, et l'autre à l'ouest, dit Hutton n° 3. Dans le troisième district, au toit de la faille, on exploitait la couche Maudlin qui avait été recoupée par un travers-bancs traversant la faille.

Au-dessous, à 514 mètres de profondeur, on exploitait la couche Hutton au toit de la faille dans un district dit de Hutton n° 2.

Au-dessus, à l'étage de 398 mètres, on exploitait la couche Main Coal au mur de la faille.

L'exploitation était plus spécialement concentrée dans le deuxième niveau, à 466 mètres de profondeur. Ce niveau fournissait à lui seul des deux tiers aux trois quarts du total de l'extraction quotidienne.

Extraction. — La production totale des trois étages était de 500.000 tonnes environ par an, ou d'environ 2.000 à 2.500 tonnes par jour de travail.

Personnel. — Le nombre d'ouvriers occupé dans la houillère était d'environ 1.500. Il y avait trois postes consécutifs au charbon, de 4 heures du matin à 11 heures et demie du soir, et un poste pour réparation, de 10 heures du soir à 6 heures du matin ; celui-ci, par conséquent, chevauchait sur le dernier et le premier poste au charbon.

Surveillance. — Le personnel de la surveillance comprenait :

1 directeur,
1 chef des travaux du fond,
4 maîtres-mineurs chefs,
8 sous-maîtres-mineurs,
1 surveillant général des voies d'aérage et des vieux travaux,
1 chef machiniste,
4 surveillants des remblais,
48 chefs de poste.

Méthodes d'exploitation (*). — La couche Maudlin, dont on ne prend d'ailleurs qu'une partie, était exploitée par *long-wall*.

Partout ailleurs l'exploitation était faite par la méthode ordinaire du Durham des *piliers et galeries avec piliers repris*.

Le traçage était fait par galeries distantes de 40m,216 d'axe en axe, laissant entre elles des piliers de 36m,560 de côté, séparés en conséquence par des galeries de 3m,656 de largeur. Ce traçage était poussé à partir des galeries maîtresses de roulage et d'aérage jusqu'à une faille ou à un accident qui servait de limite naturelle à un quartier.

On dépilait complètement en battant en retraite à partir de cet accident en laissant le toit s'ébouler de lui-même en arrière. L'éboulement suit, généralement, de très près à Seaham.

Il suffit, après ces détails, d'un coup d'œil jeté sur les plans pour se rendre compte de la distribution générale et de l'état d'avancement des travaux au niveau principal de l'exploitation, de 466 mètres, le seul que nous ayons représenté, parce qu'il a seul été atteint par les effets de l'explosion.

Étendue des travaux. — Au niveau supérieur, de 398 mètres, dans la couche main coal, les travaux s'étendaient sur 240 hectares, y compris les vieux travaux. Les chantiers en activité avaient un développement de 685 mètres. La galerie d'amenée d'air la plus longue avait 3.307 mètres et la galerie de retour la plus longue 3.398 mètres de développement.

Au deuxième niveau, à l'étage de 466 mètres, les tra-

(*) Pour plus de détails sur les méthodes d'exploitation du Durham, voir le rapport que nous avons fait avec M. Pernolet sur l'*Exploitation et la réglementation des mines à grisou en Angleterre*, p. 133 à 148.

vaux en activité s'étendent environ sur 250 hectares, et les anciens travaux abandonnés sur 600. Les galeries d'amenée d'air les plus longues ont : 3.085 mètres dans Hutton n° 1, 1.142 mètres dans Hutton n° 3 et 2.463 dans Maudlin. Les longueurs des retours d'air sont respectivement un peu plus longues. Le développement des chantiers en activité était de 1.554 mètres dans Hutton n° 1, 174 dans Hutton n° 3 et 1.005 mètres dans Maudlin.

Au niveau inférieur, dans Hutton n° 2, les travaux s'étendent sur 350 hectares dont 57 de vieux travaux ; la plus grande longueur de voie d'amenée d'air est de 2.750 mètres et le développement des chantiers en activité de 2.750 mètres aussi.

Dégagement du grisou. — La houillère de Seaham ne passait pas pour beaucoup plus grisouteuse que les autres houillères à grande profondeur du Durham qui l'entourent. Le dégagement normal du grisou au front de taille, en dépilage, n'a jamais été signalé comme très sensible. De temps en temps seulement, on a rencontré des soufflards plus ou moins considérables et de durée plus ou moins longue. Ils ont été plus particulièrement violents et nombreux dans le district de Hutton n° 1, où ils venaient généralement du toit.

On avait également signalé parfois des apparitions de grisou dans les retours d'air au voisinage des vieux travaux et notamment dans le district n° 3.

Un accident de grisou était déjà survenu dans cette même houillère en 1871, lequel avait fait vingt-six victimes : il n'avait pas été possible d'établir nettement à quelle cause il fallait l'attribuer. D'après les uns, il y aurait eu irruption subite du gaz emprisonné dans une cavité; le gaz aurait été chassé violemment, par une chute du toit, dans la galerie principale d'entrée de l'air et se serait allumé à une lampe Davy ou à une lampe à feu nu du voisinage : suivant les

autres, un coup de mine tiré près du puits, dans la galerie d'entrée de l'air, avait fait sauter un croisement d'air (*crossing*); le grisou des vieux travaux aurait pu, par suite, arriver dans la galerie d'amenée de l'air et s'y allumer à une lampe à feu nu. Il est, du reste, à remarquer dans cet accident que presque toutes les victimes avaient péri par asphyxie.

Poussières. Sécheresse. — La houillère de Seaham était réputée comme essentiellement sèche et poussiéreuse. Des poussières assez fines étaient notamment accumulées en assez grande abondance dans les galeries qui faisaient communiquer les deux puits.

Un peu avant la catastrophe, un inspecteur du gouvernement avait remarqué l'état particulier de sécheresse de la mine.

La température dans cette partie poussiéreuse des abords des puits est indiquée comme étant habituellement de 19°.

Ventilation. — La ventilation était déterminée par deux foyers f et f', ayant l'un $2^{m},743$ sur $2^{m},133$ et l'autre $2^{m},743$ sur $1^{m},829$, soit $5^{mq},85$ de superficie pour l'un et $5^{m},01$ pour l'autre, au total $10^{mq},86$ pour les deux. Ces deux foyers étaient installés au niveau de l'étage principal, comme le représentent les plans et croquis. Ils étaient alimentés par les retours d'air. Outre les foyers, il y avait deux batteries d et d', de trois chaudières chacune, placées près du puits n° 1. Deux de ces trois chaudières dans chaque batterie étaient en marche simultanément et leur tirage concourait à produire la ventilation. La batterie d, dite n° 1, était alimentée par l'air frais; l'autre d', ou n° 2, par de l'air des retours.

Il y avait, en outre, deux chaudières de machines locomobiles e et e', dites de Maudlin et de Hutton n° 3, alimentées par de l'air frais.

Les plans et croquis indiquent suffisamment par quels galeries et puits intérieurs circulaient les gaz chauds jusqu'au puits général de retour. Ils venaient déboucher dans ce puits à 8 mètres au-dessus de l'accrochage du niveau supérieur qui était ainsi mis à l'abri d'une chaleur trop considérable.

La quantité totale d'air entrant par le puits d'entrée était moyennement de 146 à 151 mètres cubes par seconde et la dépression entre les deux puits, au niveau des foyers, a été indiquée comme variant en bonne marche, de 50 à 63 millim. d'eau.

La consommation de chaque foyer était évaluée à 10 tonnes environ par 24 heures.

On consommait, en outre, 14 tonnes par jour à la batterie n° 1, et 6 à la batterie n° 2.

L'inspecteur du gouvernement a admis la distribution d'air suivante comme représentant sensiblement la situation moyenne à l'époque de l'explosion, d'après les jaugeages les plus récents faits dans la quinzaine précédente.

L'air entrant par le puits *a* se distribuait tout d'abord à chacun des trois étages dans la proportion suivante :

	mètres cubes.	
1er étage (398 mètres)	21,027	par seconde.
2e — (466 —)	86,940	—
3e — (514 —)	40,536	—
	148,493	par seconde.

Les 86mc,940 de l'étage principal, représenté sur les plans, se distribuaient comme l'indique le tableau suivant :

Tableau de la distribution de l'air dans l'étage de 466 mètres de la houillère de Seaham.

DISTRICTS.	Quartiers ou divisions secondaires du courant d'air dans chaque district.	VOLUME DE L'AIR en mètres cubes par seconde à l'entrée de chaque		NOMBRE		
		district.	quartier.	de chantiers en activité.	d'ouvriers du poste au charbon le plus occupé.	de chevaux.
Hutton n° 1.	Sud	36,159	9,444	8	27	8
	Est { côté nord		4,720	10	26	10
	Est { côte est		7,080	16	47	15
	Air n'allant pas aux chantiers : Chaudières, machines, écuries, galeries non exploitées et pertes		14,915	»	12	53
Hutton n° 3.	Sud	29,258	6,461	4	12	4
	Plan incliné ouest		6,131	»	»	»
	Main-coal et foyer		3,304	»	»	»
	Machine de Maudlin et pertes		13,362	»	»	»
Maudlin.	Nord	21,523	6,608	28	37	10
	Est		7,080	15	38	11
	Ecuries et pertes		7,835	»	»	»
		86,940	86,940			

L'examen de ce tableau et un coup d'œil sur les plans suffisent pour faire comprendre le détail de la distribution de l'air (*).

(*) On trouvera plus loin, à leur place habituelle, les légendes détaillées des plans qui accompagnent cette note. Nous voulons seulement signaler ici une particularité de détail qui mérite de fixer l'attention. On remarquera que sur ces plans les galeries principales d'amenée d'air sont marquées en bleu et les voies de retour d'air en rouge. C'est là une pratique à peu près générale dans toutes les exploitations anglaises bien tenues, à ce point, comme nous l'avons dit, dans notre rapport de mission (*Angleterre*, p. 235), que ces couleurs sont en quelque sorte devenues *conventionnelles*

Une première remarque à faire est que sur les 86^{mc},940 qui entrent par le puits d'entrée d'air, il n'y en a que 47^{mc},894, soit 55 p. 100 du total, qui arrivent jusqu'à l'entrée des quartiers en activité. Le restant, sauf quelques petites dérivations lancées dans des quartiers non exploités, ne fait pour ainsi dire que tourner autour des puits, consommé en partie pour le service des écuries, par l'appel des foyers d'aérage et des chaudières, et simplement perdu pour le reste. Sans doute, l'air envoyé aux écuries, aux foyers, aux chaudières n'est pas absolument inutile. Les pertes réelles n'en sont pas moins énormes, et, en tout cas, on s'explique comment, avec de pareilles distributions, on arrive à mouvoir finalement, dans les houillères anglaises, des volumes d'air aussi énormes que ceux dont il est ici question.

D'autre part, on voit, d'après les plans, que l'air était distribué aux divers quartiers suivant la disposition pour ainsi dire classique de toutes les exploitations anglaises. Dans chaque district d'abord, et dans chaque quartier ensuite, les voies d'entrée et de sortie d'air cheminent parallèlement l'une à l'autre et à une faible distance, séparées seulement, tous les 40 ou 50 mètres, par les barrages (*stoppings*), au moyen desquels on a fermé successivement les galeries transversales qui avaient été nécessaires pour l'exécution du premier grand traçage : ces barrages, d'une étanchéité plus ou moins douteuse, ne peuvent pas résister généralement à une explosion un peu vive, et on en a vu un nouvel exemple dans la présente catastrophe de Seaham.

Enfin, un semblable appareil d'aérage, aussi compliqué

---

pour cette représentation dans toutes les exploitations. On peut reconnaître par les dessins que nous donnons combien cette pratique facilite, en effet, la lecture d'un plan ; elle fixe, à première vue, sur la distribution de l'aérage dans son ensemble comme dans ses détails.

dans le détail, ne peut être établi dans une couche plateuse, avec une exploitation qui rayonne dans toutes les directions autour de deux puits placés côte à côte, sans multiplier, particulièrement autour des puits, le nombre des portes et des croisements d'air (*crossings*).

Le plan (*fig.* 1, Pl. IV) montre qu'à Seaham, dans un rayon de 200 mètres autour des puits, il n'y avait pas moins de huit de ces *crossings*. Tels qu'on les établit généralement, soit en briques, soit en bois, et tels qu'ils étaient établis à Seaham, ces *crossings* sont détruits à la moindre explosion; l'aérage se trouve alors complètement arrêté au delà dans les travaux qui se trouvent former de vrais culs-de-sac.

On va voir, par l'explosion du 8 septembre, les conséquences que peuvent entraîner un pareil aménagement et de semblables dispositions.

Circonstances de l'explosion. — L'explosion a eu lieu le 8 septembre 1880 à 2 h. 20′ du matin.

Il y avait en ce moment dans l'intérieur de la mine 231 personnes, ainsi réparties :

Étage de 466 mètres.	District de Hutton n° 1	59	169
	— n° 3	74	
	— Maudlin	36	
Étage de 398 —			19
Étage de 514 —			43

Les effets de l'explosion ont été uniquement concentrés dans l'étage intermédiaire de 466 mètres.

Aux deux autres étages, tous les ouvriers ont été retirés ou sont sortis sans que beaucoup d'entre eux se soient doutés de la catastrophe qui venait de survenir. A l'étage principal, au contraire, tous les ouvriers ont péri à l'exception de 5 : quatre, occupés dans Hutton n° 3, ont pu se sauver par les retours d'air; le cinquième était l'accrocheur du bas du puits n° 1, qui a survécu, bien qu'il ait été fortement brûlé.

Sur les 164 cadavres, 136 ont été retirés durant les travaux de sauvetage et d'exploration, qui se sont étendus successivement à toute la mine, sauf au quartier est de Maudlin. A la suite d'un incendie reconnu dans ce quartier près des écuries K, on a cru prudent de fermer par des barrages tout le district de Maudlin; 28 cadavres ont donc été ainsi laissés dans le quartier est de ce district (*).

L'examen des 136 cadavres qui ont été retirés a montré que 3 ou 4 victimes tout au plus avaient été sérieusement brûlées; elles étaient toutes placées dans les galeries d'entrée d'air au voisinage immédiat des puits. Un des plus sérieusement brûlés était l'accrocheur du puits n° 1, qui a survécu. Le nombre de ceux qui pouvaient avoir été tués par projection est également extrêmement réduit, inférieur certainement à une dizaine.

Ces quelques ouvriers, atteints de brûlures ou de fractures, se trouvaient tous dans les voies d'entrée d'air, plus ou moins rapprochés des puits. Tous les autres, c'est-à-dire la presque totalité, sont morts asphyxiés.

Dans tous les quartiers de Hutton n° 1 et de Maudlin, il est établi que les ouvriers ont vécu plusieurs heures au moins après l'explosion; on a trouvé des inscriptions à la craie laissées par eux en différents points. Les 4 ouvriers qui se sont sauvés du Hutton n° 3 par les retours d'air avaient vainement engagé à les suivre les 13 ouvriers qu'on a retrouvés asphyxiés, réunis là en groupe.

Tous les dégâts matériels, éboulements, destruction de matériel, renversement de bois et de murs, etc., se sont

(*) M. Thomas Bell vient de me faire connaître que les barrages avaient été enlevés le 25 juin et qu'on vient de terminer les travaux de reconnaissance et de rétablissement de ce quartier. A l'exception d'un seul, aucun des 28 cadavres ne portait des traces de brûlures. Toutes les indications recueillies dans ce quartier n'ont fait que confirmer celles résultant de l'exploration des autres districts et quartiers.

présentés exclusivement dans les galeries d'entrée d'air des trois districts, au voisinage des puits. Les dégâts étaient particulièrement considérables, d'une part, à l'accrochage même du puits d'entrée d'air et, au voisinage immédiat du puits, dans la galerie principale de Hutton n° 1 ; d'autre part, autour du bas du puits intérieur *c*, par lequel descendaient les charbons de l'étage supérieur de Main Coal. Les retours d'air avaient été partout complètement épargnés, sauf aux points où ils n'étaient séparés des voies d'entrée d'air que par des portes, des barrages ou des *crossings*. Partout invariablement, portes, barrages ou *crossings* avaient été renversés et projetés des voies d'entrée d'air vers les voies de retour.

En dehors de ces indications, d'une netteté et d'une constance tout à fait remarquables, toutes autres indications relatives au point d'où l'explosion avait pu partir restent assez douteuses ou sujettes à discussion. Vers l'origine des voies d'entrée d'air des trois districts, région presque exclusivement affectée par l'explosion, on a relevé dans chacun des quartiers des indications d'apparence assez contradictoire au premier abord; ainsi, dans chacun des trois quartiers, on a relevé, à la même distance d'environ 350 mètres du puits d'entrée d'air, des points à partir desquels on notait des traces d'action dans les deux sens, comme si chacun de ces points avait été le centre ou l'origine d'une explosion, qui aurait agi d'un côté vers le puits et de l'autre vers l'intérieur des travaux.

Parmi les diverses particularités, il y a lieu de mentionner que la galerie courbe *g*, sur 75 à 80 mètres de longueur vers son extrémité ouest, se trouvait absolument épargnée, à ce point que des outils placés contre les parois n'avaient même pas été déplacés, tandis que au delà, dans tous les sens, le désordre et les dommages étaient considérables.

On a également relevé que l'explosion avait produit un

dégagement considérable de poussières par le puits n° 1 elles ont été trouvées accumulées en grandes masses l'orifice du puits au jour.

Tous les témoignages s'accordent d'ailleurs pour établir qu'au moment de l'explosion rien ne pouvait faire prévoir un danger. Toutes les parties de la mine avaient été régulièrement visitées suivant l'usage, et tout avait été trouvé en bon ordre. Nulle part on n'avait observé de dérangement dans l'aérage ni relevé de dégagement de gaz. Le baromètre, le thermomètre et le manomètre n'avaient donné aucune indication anormale. Le baromètre était et est resté à peu près stationnaire depuis la veille jusqu'au lendemain de l'accident.

Origine et causes de l'explosion. — De toutes les observations recueillies par l'enquête, et dont nous venons d'indiquer les principales, quelques points se trouvent tout d'abord nettement et solidement établis.

Ainsi il est certain que l'explosion n'a commencé dans aucun des chantiers; son origine est incontestablement dans un rayon de 800 mètres au plus du puits d'entrée d'air, dans quelque point des voies maîtresses d'entrée d'air. Toute hypothèse d'inflammation dans les retours d'air, et notamment sur les foyers d'aérage, peut être positivement écartée.

Au delà, il faut bien reconnaître que tout est resté mystère et confusion et quant au point d'inflammation et quant à la cause de la production du mélange détonant, et quant à la cause de son inflammation; et cela, malgré une enquête minutieusement poursuivie, dans des voies très différentes, d'une part, par le personnel de la direction de la mine et par les ingénieurs et directeurs les plus éminents du bassin constitués en conseil spécial par les propriétaires; par les inspecteurs du gouvernement d'autre part; et en troisième lieu par les présidents et secrétaires des grandes

associations ouvrières du bassin, qui représentaient les ouvriers.

Les ingénieurs et directeurs, dont le témoignage a été invoqué par les propriétaires de la mine, ont placé le point de départ de l'explosion dans le district de Hutton n° 1. Suivant eux, un éboulement survenu en x, à 350 mètres environ du puits d'entrée d'air, aurait amené le dégagement d'une masse de grisou accumulée dans une partie un peu faillée et dérangée du toit. Le gaz ainsi dégagé serait allé s'allumer à une centaine de mètres plus loin à la lampe Clanny (*) de l'ouvrier Ramshaw, dont le cadavre a été retrouvé en t, horriblement mutilé, les morceaux de sa lampe, complètement brisée, répandus tout autour. On a fait observer qu'en ce point la vitesse du courant d'air peut atteindre et atteint fréquemment de 3 mètres à $3^m,40$ par seconde, vitesse qui serait considérée comme suffisante pour produire l'inflammation d'un mélange explosible passant sur une lampe Clanny, même supposée en bon état.

Les inspecteurs du gouvernement et les représentants des ouvriers ont énergiquement combattu cette explication. Ils ont montré qu'elle repose sur une première hypothèse, l'accumulation d'une masse de grisou au toit, qui non seulement ne s'appuie sur aucun fait constaté, mais dont les ingénieurs et directeurs auraient admis eux-mêmes *à priori* l'invraisemblance avant l'explosion; du grisou ne pouvant ainsi s'accumuler au toit d'une galerie principale d'entrée d'air datant de plus de vingt ans. D'autre part, les inspecteurs et les représentants des ouvriers ont relevé les contradictions nombreuses qu'il y aurait entre certains faits constatés et une pareille origine de l'explosion. Il serait oiseux d'entrer ici dans les détails d'une pareille discussion; il nous suffira de constater que cette critique de l'hy-

(*) La lampe Clanny anglaise est, on le sait, la lampe Boty de Belgique, autrement dit la lampe Davy avec cylindre de verre.

pothèse tout à fait gratuite des ingénieurs et directeurs porte assez juste.

La divergence n'est pas très grande entre les représentants des ouvriers et les inspecteurs du gouvernement.

Suivant les premiers, l'inflammation a dû se produire aux lampes à feu nu dont on faisait usage au bas du puits intérieur de service *c*. L'importance des désordres constatés dans toutes les directions au bas de ce puits leur fait mettre en ce point l'origine de l'explosion. De plus, c'est le seul des divers points d'origine admissibles où l'on puisse trouver une explication raisonnable de la présence du grisou. On fait, en effet, observer que l'aérage du puits, d'après sa situation, se faisait indifféremment dans les deux sens, soit en montant de la couche Hutton vers Main-Coal, soit inversement; il pouvait donc y avoir par moments stagnation de l'air dans ce puits. Or, à l'ouest de ce puits, se trouvait une galerie formant cul-de-sac qui n'était séparée des voies de retour d'air que par une porte *h*. Une autre galerie placée dans les mêmes conditions se trouvait en *l* à l'est du puits intérieur. Avec une pareille disposition, il n'est pas impossible que, sous certaines circonstances, avec une fausse manœuvre de portes notamment, du grisou ait pu refluer des retours d'air jusqu'aux lampes à feu nu du bas du puits en quantité suffisante, sinon pour rendre l'atmosphère explosible par la seule présence du grisou, du moins pour la rendre explosible, d'après les expériences spéciales du professeur Abel, après un mélange avec les poussières qui se trouvaient en ce point; on fait, en effet, observer que tout près du puits, à l'est, on travaillait précisément à la poudre pour faire des réparations dans la galerie principale d'entrée d'air : des coups de mines venaient d'être tirés, — l'enquête l'a effectivement établi, — au moment même de l'explosion, ou tout au moins très peu de temps auparavant. On peut donc trouver là, par suite de toutes ces circonstances, les conditions qui suffiraient, d'après les con-

clusions du professeur Abel, pour produire une explosion.

Tout en reconnaissant la possibilité que les choses aient pu se passer de la sorte, les inspecteurs du gouvernement inclineraient à placer de préférence l'origine de l'explosion plus près du puits d'entrée d'air, au point *z*, vers l'extrémité ouest du travers-bancs courbe. Ils font remarquer que l'état de certains dommages concorde difficilement avec l'hypothèse des représentants des ouvriers; que de plus rien n'autorise à supposer qu'une fausse manœuvre de portes ait pu amener du grisou. Suivant eux, l'inflammation a dû être produite par un coup de mine tiré en *z* par l'ouvrier Brown, coup de mine qui, en tout état de cause, ainsi que l'enquête l'a fort bien établi, a dû partir au moment même de l'explosion. Le coup n'a pas fait long feu; mais il paraît avoir été surchargé et susceptible par suite de donner un grand volume de flamme. Cette partie de la mine étant tout particulièrement poussiéreuse, les inspecteurs seraient donc conduits à ne voir dans cet accident qu'une explosion de poussières.

Il est incontestable qu'en plaçant l'origine de l'explosion en ce point *z*, on éprouve moins de difficultés à expliquer rationnellement la situation des choses constatée après l'accident, et notamment cette singularité que la galerie principale, si bouleversée au delà dans toutes les directions, était restée absolument intacte en ce point. Mais outre que le sens et l'intensité des projections produites sont des bases fragiles pour asseoir un jugement motivé sur une explosion, tant les effets en sont parfois capricieux, les inspecteurs du gouvernement sont, de leur côté, obligés, pour expliquer la présence du grisou, même dans la faible proportion nécessaire, d'après les expériences du professeur Abel, à faire une hypothèse plus hasardée, sans aucun doute, que celle des représentants des ouvriers et qui, à tout prendre, est presque du même ordre que celle avancée par les ingénieurs et directeurs.

En effet, à moins de rejeter *à priori* le travail du professeur Abel, il faudrait, pour qu'une explosion par les poussières sous l'influence d'un coup de mine ait été possible en ce point, que l'atmosphère tînt au moins 2 1/2 p. 100 de grisou. Comment expliquer une pareille quantité de grisou à 150 mètres seulement du puits d'entrée d'air, dans une houillère aussi ancienne, dans des galeries d'entrée d'air où circulaient des volumes aussi considérables que ceux précédemment cités, dans des points enfin où, suivant l'expression de M. Lindsay Wood, l'éminent ingénieur du nord de l'Angleterre, on était autorisé à considérer le tirage à la poudre, en ce qui concerne le grisou, comme aussi peu dangereux que dans les falaises de la mer du Nord? Pour répondre à cette objection, les inspecteurs du gouvernement ont supposé qu'il avait pu y avoir stagnation de l'air dans la galerie nord du groupe des deux galeries par lesquelles l'air frais pouvait passer du travers-bancs courbe dans le district de Maudlin : cette stagnation aurait pu suffire pour que la quantité de grisou nécessaire suintât dans la galerie qui traverse en ce point la grande faille et, par suite, une partie dérangée.

On ne sera pas étonné qu'une pareille hypothèse, ne reposant d'ailleurs sur aucun fait constaté, n'ait pas pu être acceptée par certaines personnes qui plaçant, comme les inspecteurs, l'origine de l'explosion au coup de mine de Brown, ont préféré, à tant faire des hypothèses, admettre que l'inflammation des poussières ténues et sèches en grandes masses, comme il s'en trouvait en ce point de la mine, pouvait suffire à elle seule pour tout expliquer.

Le rapport et les conclusions du professeur Abel enlèvent tout crédit à cette explication qui nous relance dans le domaine des hypothèses ne s'appuyant ni sur des faits ni sur des expériences; aussi bien, comme quelqu'un l'a avec raison fait remarquer dans l'enquête, si les poussières seules pouvaient suffire pour provoquer l'explosion sous l'influence

d'un coup de mine, il y a longtemps que la plupart des houillères du bassin du Nord et même de l'Angleterre auraient dû sauter.

Bien que tout le monde ait admis finalement que les poussières ont joué un certain rôle dans cet accident, tout à fait insignifiant suivant les uns, capital pour les autres, il est une chose qui frappe et que le professeur Abel a lui-même relevée dans la déposition qu'il a faite après avoir visité la mine, c'est le peu de traces qu'aurait laissé la combustion des poussières. On n'a pas trouvé dans un seul point de ces dépôts de coke devenus pour ainsi dire classiques aujourd'hui. Faudrait-il admettre que la combustion des poussières a été si complète, par suite des volumes et de la vitesse de l'air, qu'il n'est resté que des suies ou des cendres qui auraient disparu, intimement mêlées ultérieurement à des poussières non entamées par la chaleur ? Il y a là une idée que M. W. Galloway a laissé entrevoir au cours de ses recherches. Mais elle reste aussi dans le domaine des hypothèses plus ou moins gratuites.

A la suite de toutes ces discussions portées devant lui, on trouve finalement que le jury a été très sagement inspiré et a résumé les débats non sans une pointe d'*humour*, en disant dans son verdict « que les ouvriers, sur la mort desquels il était consulté, avaient péri par une explosion, mais qu'il se trouvait incapable de dire où cette explosion avait eu lieu ».

Si minutieuse et si soignée, à certains égards, qu'ait été l'enquête, il est toutefois un côté de la question fort important, à notre point de vue, qui, volontairement ou non, a été laissé de côté par tout le monde ; nous voulons parler de l'aménagement général de la mine et de la disposition d'ensemble des travaux. On a bien discuté la question de savoir si la mine n'était pas trop étendue, si un puits placé à l'extrémité du district de Maudlin n'aurait pas permis aux ouvriers de ce quartier de se sauver. On a justement répondu

qu'il y avait beaucoup de mines anglaises plus étendues que celle de Seaham, et qu'un puits placé dans le quartier de Maudlin uniquement pour servir, le cas échéant, de puits de refuge, était un non-sens. Tout cela était fort mal prendre la question, sinon même ne la pas comprendre du tout.

Un point qui est bien de nature effectivement à frapper l'attention dans cette catastrophe, plus encore que dans beaucoup d'autres catastrophes de mines anglaises, c'est le nombre relativement considérable d'ouvriers qui périssent par asphyxie. Ici c'est la presque totalité. Et chose bien digne de remarque, ce n'est pas subitement qu'ils ont été frappés à Seaham, comme le cas s'est si souvent présenté dans d'autres explosions : la plupart paraissent avoir péri par une asphyxie plus ou moins lente. Il nous est difficile de ne pas voir là une conséquence plus ou moins directe des pratiques admises dans toute l'Angleterre pour l'exploitation des couches plateuses : remarquables comme concentration de productions relativement énormes dans un champ donné, il serait permis de les discuter sérieusement au point de vue de la sécurité. Battre circulairement dans toutes les directions autour de deux puits très voisins, seuls orifices de la mine avec le jour, avec un appareil d'aérage aussi compliqué, à galeries aussi ramassées et aussi enchevêtrées les unes dans les autres, c'est se placer dans des conditions dangereuses. Il suffit d'une explosion relativement faible pour que les portes, barrages et surtout les *croisements d'air* (*crossings*), sur lesquels repose tout cet appareil, soient détruits, et avec leur destruction l'appareil cesse de fonctionner : des quartiers et des districts étendus se trouvent dès lors en culs-de-sac privés de tout aérage. On est véritablement frappé du nombre de portes et de *croisements* qu'il faut accumuler autour des puits avec de pareilles dispositions dont Seaham montre un excellent exemple. Il semble donc bien qu'au seul point de vue

de la sécurité il y aurait des avantages certains à avoir un aménagement dont l'appareil d'aérage permettrait de réaliser ce qu'on a appelé un *aérage diagonal :* en d'autres termes, il paraîtrait préférable de disposer les puits méthodiquement en amont et en aval de leur champ d'exploitation, et d'exploiter successivement en descendant en ayant des quartiers indépendants les uns des autres d'abord, et dans chacun desquels ensuite les voies d'entrée et de sortie de l'air fussent suffisamment indépendantes l'une de l'autre. Avoir simplement des puits placés en amont et en aval de l'exploitation, *en diagonale*, ne suffirait pas, en effet ; cela va de soi, et, s'il en était besoin, on le verrait par la catastrophe de Penygraig, une des très rares houillères d'Angleterre où l'on rencontrait cette disposition.

II

ACCIDENT DE PENYGRAIG

Situation et consistance de la mine. — La houillère de Penygraig, située dans la vallée de Rhondda, fait partie de ce district du bassin houiller du sud du pays de Galles, dit de Rhondda-Aberdare, où l'on exploite les célèbres charbons à vapeur de Cardiff, district qui est un des plus connus d'Angleterre pour le nombre et l'importance des catastrophes qui y sont survenues déjà. La houillère de Penygraig est notamment limitrophe avec celle de Dinas où une explosion, survenue dans la même couche en janvier 1879, faisait 63 victimes, et voisine de celle de Pentre, où 31 ouvriers furent tués en février 1871.

La houillère de Penygraig comprend deux puits A et B (*fig.* 1, Pl. V). Le puits A, dit puits inférieur ou n° 2, de 4^m,269 de diamètre et 377^m,50 de profondeur, est situé dans le fond même de la vallée; le puits B, de 4^m,573 de dia-

mètre et 405 mètres de profondeur, dit puits supérieur ou n° 1, se trouve à 1.015 mètres de distance à vol d'oiseau du premier, sur le coteau, entre la vallée de Rhondda et celle d'Ely, son orifice à 55 mètres plus haut que celui de A.

On n'exploitait par ces deux puits que la couche dite *six-feet*, d'une puissance moyenne de 2 mètres, mais qui, en certains points, a jusqu'à 4^{m},50 d'épaisseur. Cette couche est la troisième de la série des *charbons à vapeur*; à 70 mètres au-dessus d'elle se trouve la couche *two feet-nine*, la première de la série; 41 mètres plus bas, ou 29 mètres au-dessus de la couche *six-feet*, se trouve la couche *four-feet*, la plus renommée de la série pour la qualité du charbon.

La couche *six-feet* à Penygraig est à très-peu près plateuse, avec une très faible inclinaison vers l'Est, de 1/24 environ. Entre les deux puits, elle est coupée par une faille FFFF, orientée N.-O.-S.-E., qui détermine un rejet de 32 mètres vers le nord-est ou vers le puits A.

La houillère de Penygraig était une mine tout récemment ouverte. Les deux puits n'avaient été foncés qu'en 1879. Jusqu'au mois de mai 1880, aucune communication n'ayant encore été ouverte entre eux, on avait exploité séparément de chaque côté de la faille par chacun des puits, fonctionnant comme puits unique à compartiments, de façon à servir à la fois à l'entrée et à la sortie de l'air. Pendant cette période, conformément à la prescription formelle de la loi, on ne pouvait pas employer et on n'employa pas plus de 20 ouvriers dans chacun des puits. En mai 1880, une communication fut ouverte entre les deux puits par le travers-bancs montant *cd*, de 2^{m},50 de large sur 2^{m},25 de hauteur, qui avait été attaqué des deux côtés : dès lors l'exploitation se trouva assise telle qu'elle était au moment de la catastrophe.

La *fig.* 1, Pl. V, montre suffisamment la disposition générale des travaux et leur étendue encore très restreinte,

en amont et en aval, de part et d'autre de la grande artère servant de voie maîtresse qui établissait la communication entre les deux puits.

Dans le district supérieur ou du puits B, l'exploitation se trouvait définitivement arrêtée en aval, les travaux ayant presque atteint en ces points la limite de la concession. L'exploitation était, au contraire, activement poussée en amont, où le front de taille s'étendait à peu près sur toute la longueur du district.

Dans le district inférieur (puits A) l'exploitation était ouverte en amont sur toute la longueur du district, mais elle était poussée avec peu d'activité; en aval, elle avait lieu dans le quartier voisin de la faille où la production était considérable.

L'exploitation se faisait partout par le *long-wall*, autrement dit par une grande taille continue qu'on poussait en amont et en aval de la galerie maîtresse, avec une direction générale du front de taille plus ou moins parallèle à cette galerie, c'est-à-dire à la direction même de la couche.

On sait que dans cette méthode (*) le front de taille continu se trouve partagé en tailles successives, de 8 mètres environ de longueur à Penygraig, placées plus ou moins en gradins l'une sur l'autre, et desservie chacune par une galerie aboutissant ou à la voie maîtresse ou, dès que le front de taille est un peu éloigné, à une voie de roulage secondaire qui se branche seule sur la voie maîtresse.

Ces explications rappelées, il suffit de jeter un coup d'œil sur le plan pour se rendre compte suffisamment de la disposition des travaux.

Le front de taille d'amont du district sud (puits *B*) s'étendait sur une longueur de 400 mètres. On remarquera que de son extrémité nord, la plus élevée, partait, dans

(*) Voir pour de plus amples renseignements sur cette méthode notre rapport sur l'*Exploitation et la règlementation des mines à grisou en Angleterre*, p. 168 et suivantes.

cette même direction du nord, un avancement *ef*, dit avancement de Turberville, mené par une taille, en arrière de laquelle on réservait une galerie d'entrée d'air *e* et une galerie de retour *f* par l'interposition de débais entre les deux. L'avancement de ce chantier, qui se trouvait constitué le point le point le plus haut de toute la mine, était à une distance de 45 à 50 mètres de l'extrémité nord du grand *long-wall* précité.

Bien qu'à Penygraig, comme dans toutes les houillères à charbon à vapeur du pays de Galles, on ne sortît que le gros charbon et que le menu fût rejeté comme remblai, ce menu et les stériles divers de l'exploitation étaient insuffisants, avec une couche de 2 mètres, pour assurer le remblai complet et régulier au fur et à mesure de l'avancement. L'enquête a établi que le remblai était toujours en retard; qu'il restait généralement des vides plus ou moins considérables entre les murs et les boisages, élevés, suivant l'usage, des deux côtés de chaque galerie, vides qui ne se remplissaient finalement que plus ou moins tard, après l'éboulement du toit.

A l'époque de l'explosion, on tenait en activité à la fois 50 chantiers dans les deux districts réunis. On travaillait avec un double poste successif au charbon, de 228 hommes chacun, donnant une production d'environ 500 tonnes par 24 heures. Il y avait, en outre, dans la nuit, un poste aux réparations de 106 hommes. Outre les réparation proprements dites ou l'entretien des galeries, on faisait dans ce poste le muraillement et le boisage définitifs des galeries, les piqueurs ne faisant que poser les bois nécessaires à assurer la sécurité au chantier : on continuait également durant ce poste les percements au rocher, en même temps qu'on remblayait autant que possible les vides laissés par l'exploitation.

La production précitée était répartie à peu près par moitié entre les deux districts séparés par la faille et l'extraction de chaque district se faisait par le puits qui lui cor-

respondait. Le puits supérieur *B* servant de puits d'aérage avec ventilateur, était, à cet effet, fermé par des clapets analogues à ceux de la houillère de Dinas, que nous avons décrits et figurés dans notre rapport sur l'Angleterre (p. 83 et 84).

Nous rappellerons enfin que les *charbons à vapeur*, tels que ceux produits par cette couche, sont des houilles maigres à courte flamme qui doivent tenir 20 p. 100 environ de matières volatiles en charbon supposé pur.

État de la mine au point de vue du grisou. — La série des couches de *charbons à vapeur* du district de Aberdare-Rhondda constitue une des formations les plus abondantes en grisou que l'on rencontre en Angleterre. Comme dans beaucoup de houillères voisines, tous les abords des puits de Penygraig étaient éclairés la nuit par le grisou, qui avait été capté par des tuyaux posés lors du fonçage des puits. La venue de grisou avait été particulièrement abondante à la traversée des deux couches *two feet nine* et *four feet* et à la traversée des grès séparant ces deux couches, en un mot dans toute la formation située à une trentaine de mètres au-dessus de la couche exploitée. C'était dans cette zône qu'était capté le grisou servant à l'éclairage.

La couche *six feet* elle-même passe pour être passablement grisouteuse. Grâce à une ventilation, qui semble avoir été en somme toujours assez active relativement, il ne paraît pas qu'on ait vu fréquemment le grisou marquer à la lampe à Penygraig, ni même qu'on ait rencontré fréquemment des accumulations adventives. On en avait noté cependant, et il est constant qu'à la suite des arrêts occasionnels de la ventilation, à l'époque où les deux puits n'étaient pas encore en communication, il avait fallu parfois évacuer la mine, qui s'était trouvée envahie par le grisou. On avait également rencontré, notamment aux cas-

sures ou aux failles, des soufflards assez violents et assez continus. Bref, la mine pouvait passer pour une des plus dangereuses de ce district éminemment grisouteux, d'autant plus que l'exploitation n'y faisait que commencer et qu'elle était poussée avec une activité et une ampleur dont les renseignements ci-dessus donnés permettent de se rendre compte. M. William Galloway a admis dans l'enquête, comme résultat de ses observations, que le retour d'air du puits inférieur devait normalement tenir toujours au moins 0,71 p. 100 de grisou, et que le retour d'air général au puits de sortie devait être chargé d'au moins 2 p. 100.

Toute la mine était très sèche et très poussiéreuse. En certains points il y avait sur le sol 10 à 15 centimètres de poussière de charbon très fine.

Les observations suivantes, faites par M. W. Galloway avec un psychromètre, le 12 janvier, de six heures à neuf heures du soir, un mois après l'accident, alors que la mine était remise dans son état normal, permettront de se rendre compte de sa situation au point de vue de la température et de l'humidité :

POINTS DE L'OBSERVATION.	TEMPÉRATURES observées.	
	Boule sèche.	Boule humide.
	degrés.	degrés.
A l'orifice au jour du puits d'entrée d'air. . .	— 2,23	— 2,78
Au fond du puits (très humide)	+ 3,62	+ 3,62
Au pied de la faille (point c).	+ 14,73	+ 11,39
Au bas du puits de sortie.	+ 19,17	+ 15,84

Ventilation. — La ventilation était produite par un ventilateur à force centrifuge enveloppé, construit sur place, de 5^m,48 de diamètre, tournant habituellement à la vitesse de soixante-trois tours par minute et produisant une dépres-

sion de 15 millimètres (*). Le ventilateur se trouvait placé à quelques mètres du puits de sortie d'air *B*.

D'après les renseignements de l'enquête, à l'époque de l'explosion, le volume d'air total qui circulait dans la mine aurait été de 28 à 33 mètres cubes par seconde. Avec la dépression indiquée de 15 millimètres, cela donnerait un orifice équivalent de $2^{mq},94$, qui paraît, en effet, concorder avec la généralité des faits connus sur les mines anglaises et la situation particulière de la houillère en question, fort peu étendue, et où toutes les galeries étaient à grande section, de 3 à 4 mètres de largeur environ sur 2 de hauteur.

L'examen du plan montre suffisamment, par les flèches qu'il porte, la distribution du courant d'air, depuis le puits *A* par lequel il entrait jusqu'au puits *B* par lequel il sortait. Après s'être partagé en plusieurs branches et sous-branches pour l'aérage du district inférieur ou du puits A, le courant se reconstituait pour franchir la faille par le travers-bancs *cd*. A la sortie du travers-bancs, il se partageait en deux branches principales : l'une, de 9 mètres cubes à la seconde environ, suivait directement la galerie maîtresse ; le restant, soit 21 mètres cubes environ — moins les pertes — remontait directement vers l'avancement de Turberville et l'extrémité nord du grand *long-wall* de ce district pour

(*) Tout rudimentaire qu'il fût, ce ventilateur aurait encore donné, d'après les renseignements de l'enquête, un rendement manométrique approximatif de 45 p. 100. Pour apprécier avec exactitude ce résultat, il importe dans l'espèce de tenir compte de l'aérage naturel considérable qui avait lieu, le ventilateur arrêté, aérage naturel susceptible, d'après des observations de M. Galloway, de faire passer un volume de 14 mètres cubes par seconde. En partant de l'orifice équivalent de $2^{m2},94$ on arrive, par un calcul bien connu, à trouver que la dépression due au ventilateur seule aurait été de $14^{mm},66$, la dépression totale observée de 15 millimètres résulte de cette dépression et de la dépression de $3^{mm},2$ correspondant à l'aérage naturel d'après la relation classique : $\overline{15}^2 = \overline{14,66}^2 + \overline{3,2}^2$.

l'aérer en descendant et venir se joindre à l'autre dérivation avant d'arriver au puits.

Suivant les pratiques du pays de Galles, la direction et la répartition de l'air entre les différents quartiers étaient assurées par des toiles pendantes, fixées à la couronne des galeries, dont on multipliait le nombre suivant les besoins. L'emploi de portes en bois était tout à fait exceptionnel.

Cet aérage présentait donc les particularités suivantes. Dans son ensemble, il tenait de l'*aérage diagonal* en ce sens que l'air entrant par une extrémité en sortait par l'autre sans pouvoir faire autrement que de passer en totalité dans la mine, mais avec plus ou moins d'utilité, suivant la manière dont il y était distribué. Tous les fronts de taille étaient aérés par un courant formant cul-de-sac au-dessus de la voie maîtresse, et les culs-de-sac étaient montants pour toute la partie amont et notamment pour le grand *long-wall* du district du sud. L'avancement de Turberville formait lui-même un cul-de-sac montant. Enfin, tout le *long-wall* du sud n'était aéré que par un circuit unique formé par le retour d'air du district du nord, en sorte que tous les chantiers de la mine se trouvaient pour ainsi dire établis sur un circuit unique.

Éclairage. — On faisait à peu près exclusivement usage à Penygraig de lampes Clanny, bien que la vitesse dans certaines galeries atteignît 4 à 5 mètres.

Tirage à la poudre — L'emploi des explosifs était inutile pour l'abatage du charbon, qui tombait de lui-même, comme dans toutes les couches de charbon à vapeur du pays de Galles, par suite du clivage. Mais on en usait à volonté dans le poste aux réparations.

Circonstances de l'explosion. — L'explosion a eu lieu le 10 décembre 1880 à 1h30 du matin, alors qu'il n'y avait

dans la mine que le poste aux réparations, composé de 106 personnes. Sur ce nombre 4 ouvriers, occupés dans les galeries situées au nord du puits d'entrée d'air *A* et tout au voisinage, ont pu, après l'explosion, gagner le bas du puits et ont été sauvés : un cinquième, qui travaillait dans le même quartier, à 100 mètres du puits, ne fut que très légèrement brûlé et fut retiré, encore en vie, 36 heures après l'explosion, sous un petit éboulement qui ne lui avait pas permis de fuir. Les 101 autres personnes ont été tuées à leur place même de travail ou tout à côté, frappées toutes par conséquent instantanément ou à peu près instantanément. Sur ces 101 victimes, 90 ont été plus ou moins atteintes par les flammes et 11 seulement paraissent avoir péri uniquement par intoxication ou asphyxie. Sur ces 90 brûlés, on a estimé qu'il y en avait 20 seulement dont les brûlures étaient assez étendues pour qu'elles aient pu déterminer la mort; 20 autres, plus ou moins fortement brûlés, paraissaient avoir plutôt succombé à des chocs ou à des fractures; les 50 autres n'étaient que très légèrement brûlés, et doivent être considérés comme ayant plutôt péri par intoxication ou asphyxie.

M. W. Galloway a relevé lui-même cette particularité, à laquelle il attache, on le verra, une grande importance, que dans toute la mine, tant dans le district supérieur que dans le district inférieur, on trouvait des ouvriers agenouillés sur le sol, la bouche contre terre, habituellement les mains couvrant la figure, morts dans cette posture, ne présentant que des traces de brûlure légère aux cheveux derrière la tête.

Quoi qu'il en soit, la différence paraît saillante entre la manière dont les victimes ont péri à Penygraig et à Seaham. Là, point d'asphyxie lente; des brûlures et des fractures nombreuses et importantes.

Des éboulements assez considérables se sont produits, les uns au grand *long-wall* du district sud, les autres aux

environs des deux puits, et plus particulièrement peut-être au puits d'entrée d'air. Le puits de sortie lui-même, dont la colonne était très libre, avait été peu endommagé; le puits d'entrée se trouva au contraire obstrué sur une vingtaine de mètres à sa base par suite de la destruction et de la chute d'une partie de l'ancienne cloison d'aérage qui n'avait pas été encore enlevée.

Le ventilateur ne subit aucun dommage sérieux : quelques planches de l'enveloppe seulement sautèrent. Malheureusement le tuyau d'amenée de vapeur fut brisé et par suite le ventilateur arrêté.

M. W. Galloway, dans sa déposition, a dit avoir trouvé, dans toute la mine, au débouché dans chaque chantier de la galerie qui le desservait, de la poussière de charbon cokifiée adhérant au boisage, au charbon en place et aux remblais; il en a trouvé également dans plusieurs galeries desservant des chantiers abandonnés ou suspendus et çà et là dans toutes les galeries principales. En certains points c'étaient de véritables croûtes de coke plus ou moins épaisses; ailleurs des traces plus ou moins faibles. Mais partout, suivant cet observateur — sauf peut-être à l'entrée du travers-bancs *cd* où la vitesse du courant avait dû être trop grande — on trouvait, sur les bois et dans tous les endroits où elle avait pu adhérer, une poudre ou poussière grise qui, examinée au microscope, paraissait principalement composée de petites particules de charbon cokifié.

M. W. Galloway a enfin observé que, suivant la règle générale, le coke ne se trouvait déposé que d'un côté du boisage, le côté opposé à celui d'où le coup était venu. En quelques points cependant il en a trouvé des deux côtés, « comme si, dit-il, la poussière cokifiée était encore flottante au moment où l'air a été agité dans les deux sens sous l'influence du coup et du contre-coup ».

Sans doute le coke et la suie ont été recherchés à Peny-

graig, au moment de l'explosion, par un observateur, d'une compétence toute spéciale en ces matières, dont l'attention devait être particulièrement éveillée sur la question. Il n'échappera pas cependant que les constatations faites à Penygraig sont bien différentes sous ce rapport de celles qui ont été faites à Seaham, où personne n'a jamais trouvé de coke et où le professeur Abel lui-même a été étonné de voir si peu d'indices des traces matérielles qu'une inflammation de poussières aurait dû produire.

Origine et causes de l'explosion. — Contrairement à ce qui s'était produit à Seaham, il n'y a pas eu à Penygraig de contestation sérieuse sur le point où l'inflammation s'est produite. Toutes les indications étaient ici concordantes et suffisamment nettes pour placer ce point dans le *long-wall* du district du sud : un peu plus haut suivant les uns, qui le placent au point x à l'entrée des galeries de Turberville; un peu plus bas pour les autres.

Les causes de la production d'un mélange explosif et celles de son inflammation ont été, au contraire, un peu plus discutées.

M. W. Galloway a soutenu avec beaucoup d'énergie qu'une seule explication pouvait rendre compte suffisamment de tous les faits. Suivant lui, un coup de mine a été tiré en x, à l'entrée des galeries de Turberville, à l'avancement desquelles, soit dit en passant, il est constant qu'on ne travaillait pas à ce moment; l'enquête a effectivement établi qu'un coup de mine a bien pu être tiré en ce point au moment même de l'explosion. Ce coup, dont l'ouverture est supposée avoir été tournée vers l'avancement de Turberville, aurait donné une flamme plus ou moins longue qui aurait allumé une accumulation de grisou placée dans une des cavités qui existaient effectivement au toit des galeries de Turberville, accumulation ayant pu échapper à l'examen du maître-mineur qui a dû allumer

le coup de mine. Il aurait suffi, a soutenu M. W. Galloway, que cette accumulation fut de 250 litres seulement pour que la catastrophe survînt telle qu'elle a eu lieu. Sous l'influence de cette explosion originelle, en effet, il se serait produit un choc ou une vibration de l'air qui aurait mis en suspension dans toute la mine un nuage de poussières fines et sèches, constituant avec un air un peu grisouteux un mélange inflammable dans lequel se serait ultérieurement propagée la flamme de l'explosion originelle. Ainsi, d'après la théorie de M. W. Galloway, trois périodes : 1° explosion d'une masse relativement très-faible de grisou ; 2° soulèvement des poussières ; 3° propagation de la flamme dans le milieu poussiéreux.

A l'appui de cette théorie M. Galloway fait notamment remarquer que les flammes se sont répandues dans toute la mine puisque des ouvriers ont été brûlés au voisinage même des deux puits, et il invoque les constatations faites sur la position des cadavres trouvés agenouillés. C'est évidemment pour échapper à la suffocation par les poussières, pense M. Galloway, qu'ils se sont mis la figure à terre, dans leurs mains, et ce n'est qu'ultérieurement qu'ils ont été brûlés puisque c'est le derrière seul de la tête qui a été atteint.

Ces explications ne paraissent pas avoir trouvé grand crédit auprès des divers ingénieurs des compagnies voisines ou des inspecteurs du gouvernement qui ont apporté leur concours à l'enquête. Beaucoup ne se sont même pas occupés des poussières ; ceux qui ont admis qu'elles ont joué un rôle, que la présence des croûtes de coke ne permet pas, en effet, de nier absolument, ne le considèrent que comme plus ou moins secondaire.

Pour tout le monde, sauf M. Galloway, l'accident paraît dû à une inflammation de grisou en quantité bien autrement considérable que celle admise par cet ingénieur. Et, en vérité, on n'a pour ainsi dire que l'embarras du

choix entre plusieurs hypothèses, toutes également plausibles, pour expliquer la formation, dans le haut de ce *long-wall* montant, d'un mélange explosif ou inflammable considérable.

M. Wales, l'inspecteur du gouvernement à la résidence de Cardiff, a simplement supposé qu'il y avait eu ce que l'on nomme en Angleterre un *sudden outburst*, sorte de dégagement instantané qu'il admet n'être pas rare dans les couches à charbons à vapeur de ce district, surtout dans des exploitations nouvelles : ce dégagement se serait produit avec l'un des éboulements constatés aux environs de l'avancement de Turberville. C'est, on le voit, la répétition d'une théorie commode, assez à la mode chez les exploitants anglais, mais qui malheureusement échappe à toute discussion sérieuse en cas de catastrophe générale.

M. Hall, inspecteur du gouvernement à Liverpool, envoyé pour aider son collègue dans l'enquête, et M. Rees, inspecteur adjoint du district, ont fait observer qu'il était établi qu'il y avait eu affaissement du toit dans cette région avant l'accident, affaissement généralement accompagné, dans les exploitations par *long-wall* d'un dégagement de grisou, et qu'il y avait eu, en outre, des éboulements qui avaient dû ralentir l'aérage dans ce quartier. Toutes ces causes pourraient parfaitement expliquer que l'atmosphère d'un quartier aéré par le retour d'air de tout un district grisouteux fût devenu explosible, alors surtout que ce quartier formait un point haut dans la mine avec changement de sens du courant d'air.

Quant à la cause de l'inflammation, toujours secondaire d'ailleurs en pareille occurence, on sait qu'on a dû tirer un coup de mine en x, vers le point le plus haut; en outre, on ne se servait que de lampes Clanny dans des courants dont la vitesse pouvait être assez grande.

Si l'on veut bien réfléchir à l'ensemble de ces circonstances, si l'on observe de plus que l'aérage de tous ces

quartiers reposait sur des portes en toiles; que, l'inflammation première une fois produite, tout le grisou contenu dans les vides et les vieux travaux a dû se répandre dans la mine, il semble qu'il y a là plus de motifs qu'il n'en faut pour expliquer l'explosion tout aussi rationnellement que par la théorie de M. Galloway. Sans doute on a fait observer que lorsque l'on est revenu pour la première fois après l'explosion dans ce quartier, avec un aérage assez médiocre dans la mine, on n'y a pas trouvé de gaz ; rien d'étonnant à cela pour le grisou qui pouvait se trouver dans les vides ou les anciens travaux, car on ne saurait imaginer une chasse plus énergique qu'une explosion générale pour l'en faire disparaître. Au reste, lorsqu'il est descendu, le premier de tous, dans la mine, par le puits de retour d'air, quelques heures seulement après l'explosion, M. Galloway a constaté que le retour d'air général devait tenir 4 p. 100 de grisou à un moment où l'aérage naturel ne devait faire passer dans la mine que 12.000 mètres cubes environ, ce qui prouve que le grisou était encore fort abondant.

Observations. — Il semble résulter de toutes ces considérations que s'il n'est pas permis de dire que l'accident a été positivement la conséquence de la manière dont les travaux étaient disposés et conduits, il est tout au moins permis de supposer qu'elle a pu y contribuer dans une part plus ou moins large. Évidemment mener une exploitation très active dans une couche grisouteuse tout nouvellement ouverte, établir tous les chantiers sur un même courant d'air avec des aérages partout en culs-de-sac, présentant des points hauts avec changement de sens du courant d'air, ce sont tout autant de conditions que notre commission du grisou a justement signalées comme dangereuses, et qui le deviennent encore bien plus quand, dans une pareille exploitation, on tire à la poudre et on se sert

de lampes qui ne donnent qu'une sécurité assez précaire.

A Penygraig, comme à Seaham, on retrouve donc, dans les conditions d'aménagement et d'exploitation, des causes qui expliquent sinon l'accident lui-même, du moins l'étendue qu'il a eue. Mais ici et là ces causes sont de nature différente et les conséquences par suite n'ont pas été les mêmes. A Seaham, c'est le rapprochement des puits et l'extension donnée à l'exploitation qui avait conduit à cette complication de l'appareil d'aérage, à cette multiplicité de portes et de *crossings* dont la stabilité insuffisante a dû étendre les effets de l'explosion. A Penygraig, l'éloignement des puits a conduit à une distribution d'air par circuit unique beaucoup trop simple.

En ce qui concerne plus spécialement la question des poussières, le rapprochement de ces deux accidents ne laisse pas de conduire à un résultat assez étrange, tout au moins en apparence. Avec la très grande difficulté d'expliquer la présence d'une quantité de grisou suffisante dans le rayon d'action de l'explosion de Seaham, on était tout naturellement porté à invoquer une intervention importante, peut-être même unique, des poussières d'autant plus qu'on avait à faire là à des charbons gazeux. Mais on ne peut arriver à faire concorder d'une façon satisfaisante les faits observés dans la mine avec ceux résultant des expériences actuellement connues. A Penygraig, au contraire, où abondaient les traces matérielles d'une inflammation des poussières, le grisou pouvait être en assez grande abondance pour expliquer à peu de chose près par ses seuls effets l'amplitude de la catastrophe : ici d'ailleurs il s'agit de charbons fort peu gazeux.

Finalement il est permis de trouver que ces deux accidents, malgré les recherches spéciales auxquelles ils ont donné lieu et les théories qu'ils ont fait éclore, n'apportent aucun document bien positif sur le rôle réel des poussières dans les explosions des houillères.

Ils établissent tous deux, au contraire, l'importance des principes rappelés par la commission du grisou sur l'aménagement des travaux, la distribution et la circulation de l'air.

LÉGENDE DES PLANCHES.

Planches III et IV.

a puits, dit nos 1 et 2, à deux compartiments d'extraction : l'un (n° 1) pour l'étage de 466 mètres ou d'*Hutton*; l'autre pour l'étage de *Harvey* ou de 514 mètres : ce puits sert de puits d'entrée d'air pour toute la mine;

b puits, dit n° 3, servant à l'extraction au niveau de 466 mètres ou d'*Hutton* : ce puits sert de puits de sortie d'air pour toute la mine;

c puits intérieur par lequel les charbons de l'étage supérieur ou de *Main-Coal* sont descendus à l'étage de 466 mètres;

d batterie de 3 chaudières, dite n° 1, alimentée par de l'air frais;

d' — , dite n° 2, alimentée par les retours d'air;

e machine locomobile de Maudlin, alimentée par de l'air frais;

e'' — de Hutton n° 3, alimentée par de l'air frais;

e' machine de Hutton n° 1;

f foyer d'aérage, dit n° 1;

f' — dit n° 3;

g galerie courbe au rocher rejoignant le district de Hutton n° 1 avec ceux de Maudlin et de Hutton n° 3;

h porte séparant des retours d'air le bas du puits intérieur *c*;

l porte séparant des retours d'air la galerie principale d'amenée d'air de Hutton n° 3;

k écurie de Maudlin où s'est déclaré, après l'explosion, un incendie qui forcé à barrer tout le district;

t lampe Clanny de l'ouvrier Ramshaw à laquelle, suivant quelques personnes, se serait allumé le gaz qui se serait dégagé de l'éboulement *x*;

v, *v* coups de mines tirés un peu avant l'explosion;

x éboulement qui, suivant certaines personnes, aurait amené un dégagement de gaz, cause première de l'explosion;

z coup de mine tiré par Brown au moment même de l'explosion.

Planche V, fig. 1.

A puits d'entrée d'air servant à l'extraction de 377^{m},50 de profondeur;

B puits de sortie d'air avec ventilateur servant à l'extraction et muni de clapets, de 405 mètres de profondeur;

FFFF faille partageant l'exploitation en deux quartiers et déterminant un rejet de 32 mètres vers le nord-est;

cd travers-bancs montant de *c* en *d*, traversant la faille FFFF;

ef avancement par taille avec retour d'air dit de Turberville;

x origine présumée de l'explosion.

NOTE SUR LES APPAREILS DE CONTRÔLE
ET DE SURVEILLANCE
DE L'AÉRAGE DES MINES

Par M. L. AGUILLON, ingénieur des mines.

La commission du grisou nous a fait l'honneur de nous charger de lui présenter un rapport sur les divers appareils à recommander ou tout au moins utiles à indiquer, pour le contrôle et la surveillance de l'aérage des mines. C'est ce travail qui fait l'objet de la présente note.

Il y a deux choses à distinguer dans le contrôle et la surveillance de l'aérage d'une mine. Il faut, d'une part, pouvoir se rendre compte, dans le détail, des quantités d'air circulant en un point donné de la mine, et, le cas échéant, il peut même être utile de connaître la différence des pressions, ou la dépression, entre deux points donnés du circuit.

D'autre part, il faut pouvoir connaître et surveiller les éléments sur lesquels reposent les conditions générales de l'aérage de la mine, c'est-à-dire le volume total de l'air qui y passe, la dépression totale sous laquelle se fait la circulation du courant et, subsidiairement, la vitesse avec laquelle marchent les machines destinées à la production de l'aérage.

Sans doute, lorsque l'orifice équivalent d'une mine ne varie pas, les trois éléments précités, volume total, dépression totale et vitesse de la machine sont liés entre eux par des relations simples et bien connues, qui font que de l'un

de ces éléments on peut déduire immédiatenent les deux autres. Mais les variations de l'orifice équivalent, permanentes ou momentanées, sont une des choses les plus importantes à contrôler ou à vérifier : d'où la convenance de connaître en même temps le volume et la dépression et leurs variations. De même, une machine d'aérage étant donnée, il y a une relation simple entre sa vitesse et la dépression qu'à cette vitesse elle produit dans la mine, ou le volume d'air qu'elle y fait passer; il suffit de connaître l'une de ces quantités pour avoir l'autre, étant donné l'état de la machine.

Mais, précisément pour pouvoir surveiller utilement la machine elle-même, il est bon de pouvoir rapprocher sa vitesse de la dépression produite ou du volume extrait.

La solution parfaite consisterait à avoir pour ces trois séries d'appareils mesureurs de volume, de dépression, de vitesse de machines, des instruments donnant les quantités cherchées à première vue par une simple lecture, et les enregistrant, au besoin, d'une façon continue.

Il ne manque pas, dans d'autres industries et surtout dans le domaine des recherches scientifiques, d'appareils employés à obtenir des déterminations plus ou moins analogues, appareils qui pourraient être employés tels quels pour les mines ou n'auraient besoin que d'être légèrement modifiés. Nous n'avons pas l'intention de les passer tous en revue : nous voulons nous borner à faire connaître ceux, parmi les instruments bien connus et généralement employés, que la pratique comparée des mines a déjà sanctionnés comme les meilleurs et certains autres moins connus ou plus récents qui paraissent susceptibles, par leur principe et leur mode de construction et d'emploi, de se répandre dans la pratique des mines. Il importe, en effet, de ne pas perdre de vue qu'il faut pour cet objet des appareils simples et robustes. Les instruments compliqués ou délicats, du genre de ceux employés pour les recherches scientifiques auront toujours peu de chance d'être adoptés, et l'on peut

douter à priori qu'ils soient susceptibles de rendre d'utiles services, voire même de fonctionner convenablement.

Un travail assez analogue à celui que nous entreprenons a été déjà fait en 1875, sur la demande de l'association des directeurs des travaux des charbonnages du couchant de Mons, par MM. Gustave Bia et Henry Durant, dont le rapport a été publié dans la *Revue universelle des mines*, etc., de Liège (tome XL, p. 272). Sans sortir du cadre très pratique adopté par ces auteurs, on peut, il semble, ajouter aujourd'hui quelques utiles indications à celles données par eux.

Nous nous occuperons successivement des appareils propres à mesurer les volumes, les dépressions et la vitesse des machines.

§ 1.

De la mesure des volumes d'air.

Le jaugeage du courant d'air, en un point quelconque de la mine, se fait, on le sait, par l'observation de la vitesse au moyen de mesures anémométriques ou parfois à l'aide de la poudre, de l'amadou ou de l'éther, tous procédés suffisamment connus pour que nous puissions passer rapidement sur ce qui les concerne (*).

Anémomètres à ailettes. — Les anémomètres dont on continue à faire usage ne présentent rien de particulier ni de nouveau. On retrouve toujours les appareils bien connus tels que l'anémomètre Combes, avec sa graduation sur

(*) Nous nous bornerons à mentionner ici pour mémoire les appareils imaginés par M. Le Châtelier et décrits par lui dans les *annexes aux procès-verbaux de la commission du grisou* et notamment l'appareil bifilaire et celui à feuille de papier. Nous n'aurions rien à ajouter à ce qu'en a dit leur inventeur.

roues, d'une lecture plus ou moins incommode, et avec sa commande par ficelles, appareil qui paraît encore le meilleur pour des expériences un peu précises; l'anémomètre Hardy, monté sur manche avec commande à distance par un déclic placé à l'extrémité du manche; l'anémomètre Biram avec graduation sur cadran central, plus employé là où l'on a l'habitude de faire le jaugeage en promenant l'instrument à la main dans toute la section de jaugeage. Dans ces dernières années, l'usage s'est répandu d'anémomètres tels que ceux de Casartelli et de Casella, qui ne diffèrent de ceux précédemment cités qu'en ce que les constructeurs se sont efforcés d'obtenir, par la simple indication sur un cadran, non pas le nombre de tours, mais la vitesse exprimée en pieds anglais par minute dans le Casartelli et en mètres par minute dans le Casella. Il suffit d'ajouter au nombre lu un certain nombre constant de pieds ou de mètres. Il est facile, en effet, de comprendre que si dans la formule

$$V = a + bn,$$

dans laquelle V sera le nombre de tours par minute, b est égal à l'unité, on peut faire une graduation répondant à ce désideratum. Les appareils de cette nature fournis par les bons constructeurs marchent généralement sensiblement d'accord avec la formule qui leur est attribuée par eux. Cependant il sera prudent de les vérifier de temps en temps et, le cas échéant, de rectifier leur formule.

Détermination de la vitesse moyenne. — La difficulté pratique que soulève tout jaugeage fait par l'observation de la vitesse est l'exacte détermination de la *vitesse moyenne*.

Deux procédés sont employés avec les anémomètres.

Dans l'un, on promène l'anémomètre à la main, aussi régulièrement que possible, dans toute la section pendant plusieurs minutes, et l'on prend comme *vitesse moyenne* celle

qui résulte de l'observation de l'appareil dans ces conditions.

Il n'a pas été fait d'expériences précises établissant le degré d'exactitude de cette manière d'opérer ; au reste, il serait difficile d'en avoir de bien concluantes; ce qu'on pourrait appeler l'*erreur personnelle*, d'après le procédé propre à chaque opérateur, intervenant ici avec une influence considérable et difficilement appréciable.

Le seul procédé qui puisse être considéré comme donnant des résultats suffisamment exacts consiste, en y plaçant successivement l'anémomètre d'une façon stable, à relever les vitesses, d'un nombre de points de la section assez considérable pour qu'on soit autorisé à déduire par le calcul la *vitesse moyenne*.

Une pareille manière d'opérer exige beaucoup de temps, une demi-heure au moins pour un opérateur habile et bien secondé, car il faut faire une vingtaine d'opérations pour une section de 4 mètres carrés, et elle ne peut pas être regardée comme praticable couramment pour la surveillance ordinaire de l'aérage d'une mine. De plus, pour obtenir des résultats exacts, il faut que l'on soit assuré qu'il n'y a pas eu de variations anormales des vitesses pendant toute la durée des opérations.

En présence de toutes ces difficultés, on s'est demandé s'il n'y aurait pas possibilité d'obtenir un résultat suffisamment exact pour la pratique en se bornant à relever la vitesse en un seul point de la section convenablement choisi et en en déduisant par un calcul simple la vitesse moyenne correspondante.

M. Schondorff, ingénieur aux mines royales de Sarrebrück, s'est occupé de cette question. Il a cru pouvoir donner comme résultat de ses recherches cette règle fort simple (*Zeitschrift für B-H-u-S-wesen*, tome 24, p. 120), que dans une section rectangulaire, la *vitesse moyenne* se déduit de la vitesse observée au centre en la multipliant par :

0,75	dans les galeries	boisées.
0,80	id.	au rocher.
0,85	id.	maçonnées.

M. Schondorff admet implicitement que le rapport entre ces deux vitesses est indépendant de la section de la galerie et de la vitesse moyenne elle-même. Mais M. Schondorff est arrivé à ses conclusions en partant d'une idée théorique que la pratique ne paraît pas sanctionner, comme nous aurons occasion de le dire. Cet auteur a admis, en effet, que la vitesse maximum se présentait toujours au centre de la section qu'il a toujours supposé être rectangulaire, et que les vitesses allaient en diminuant à partir de ce point jusque contre les parois; en d'autres termes, les courbes d'égale vitesse seraient des courbes concentriques, d'une forme plus ou moins circulaire ou elliptique, ayant leur centre au centre de la section. En réalité, la répartition des vitesses dans une même section paraît se faire suivant des règles beaucoup plus capricieuses.

La commission du grisou a eu à sa disposition les résultats de 54 jaugeages faits par M. Murgue, aux mines de Bessèges, avec le soin et la compétence bien connus que cet ingénieur apporte à ces études d'aérage. Douze de ces jaugeages avaient été relevés par M. Murgue, sur le désir qu'en avait manifesté la commission, pour étudier cette question ; ils avaient été faits à cet effet en des points choisis, comme nature de parois, courbes, alignements, dimensions des sections. Les autres avaient été exécutés au cours des belles recherches de M. Murgue sur l'aérage des mines.

Pour chacun de ces jaugeages, on a pu tracer très exactement la courbe de vitesse moyenne et des courbes d'égale vitesse très rapprochées. Il nous a paru inutile de reproduire ici le dépouillement complet de toutes ces recherches et il sera suffisant d'exposer les conclusions qui en résultent.

On voit tout d'abord que la règle de M. Schondorff, fût-elle vraie pour de longs alignements droits en amont de la section, ne l'est certainement pas dès qu'on se trouve en un point singulier, dans une courbe raide, ou à une distance faible en aval d'une bifurcation, d'un coude ou d'un pli brusque. Dans tous ces cas, les rapports entre la vitesse moyenne et la vitesse au centre — en prenant pour centre le milieu de la verticale qui partage la section en deux parties égales — varient d'un cas à l'autre, avec une même nature de parois, dans des proportions qui échappent à toute loi, depuis 0,68 jusqu'à 1,12.

Si l'on ne prend que les résultats de jaugeages faits dans des parties de galeries régulières en alignements droits de suffisante longueur, il reste les résultats suivants :

SECTION des galeries.	NATURE des parois.	RAPPORT de la vitesse au centre à la vitesse moyenne.
mètres carrés		
4,35	muraillée.	0,868
3,52	id.	0,820
3,36	id.	0,830
2,72	id.	0,840
3,67	au rocher.	0,830
2,97	boisée.	0,760
2,64	id.	0,880

résultats, on le voit, qui ne s'accordent pas très bien avec la règle de M. Schondorff.

Mais le dépouillement comparé de tous ces jaugeages conduit à une conclusion que M. Murgue avait déjà eu occasion de signaler dans une de ses publications, et dont l'importance pratique est capitale. C'est la suivante :

Dans une même section, la vitesse en chaque point varie dans la même proportion que la vitesse moyenne.

Ce qui peut encore s'énoncer ainsi :

Le rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse en un point donné d'une section reste constant, malgré les variations de ladite vitesse moyenne.

On voit donc que, pour toute station principale de jaugeage, où doivent être faites des observations périodiques, on pourra toujours avoir très exactement la vitesse moyenne par l'observation de la vitesse en un seul point. Il suffira qu'on ait procédé une fois pour toutes à un jaugeage détaillé de la section qui ait permis d'établir la répartition des vitesses dans cette section ou de déterminer le rapport constant entre la vitesse au point choisi et la vitesse moyenne.

Pour tous autres points de la mine, en observant la vitesse au centre de la galerie seulement, et en défalquant, suivant les cas, de 15 à 25 p. 100, comme cela se fait dans plusieurs exploitations, on obtiendra la vitesse moyenne avec une approximation dont les observations qui précèdent donnent une idée.

Anémomètre multiplicateur de Bourdon. — C'est M. H. Le Châtelier qui a soumis à la commission du grisou l'idée d'employer pour le jaugeage des courants d'air généraux d'une mine l'anémomètre multiplicateur imaginé depuis plusieurs années par M. Bourdon, mais qui jusqu'ici n'était guère sorti des ateliers de son ingénieux inventeur.

Cet appareil, représenté par la *fig.* 2 de la Pl. V, est fondé sur le principe du *tube de Venturi*, c'est-à-dire sur le principe de la diminution de pression ou du vide produits par un étranglement dans un ajutage convenablement disposé.

Ainsi supposons qu'on place dans un courant d'air de vitesse V, uniforme et uniformément répartie, un tube tel que le tube extérieur BCDEFG formé par deux troncs de cônes droits accolés par leur petite base CF. Si H est la hauteur théorique génératrice de la vitesse V, H étant par

conséquent donnée par la formule $\frac{V^2}{2g}$, en plaçant deux petits tubes piézométriques, l'un ouvert contre le courant dans la section DE, et l'autre s'ouvrant dans la section rétrécie CF, on peut montrer par la théorie et établir par l'expérience qu'il y aura entre ces deux tubes une différence de pression $H_1 = K_1H$, K_1 étant un coefficient supérieur à l'unité dépendant de la forme donnée à l'appareil, de ses sections transversales comme des inclinaisons et des longueurs. Si à l'intérieur du premier tube on en place un second de même forme JKLMNO, dont la grande base LM se trouve dans la section rétrécie du premier tube CF, on aura de même entre les sections KN et LM une différence de pression $H_2 = K_2H_1 = K_1K_2H$. On conçoit donc qu'en multipliant ainsi le nombre des tubes on arrive à augmenter dans des proportions considérables la hauteur H, généralement très faible, sous laquelle se ferait le mouvement de l'air, et qu'on puisse finalement parvenir à la mesurer commodément par un manomètre ordinaire ou par tout autre appareil analogue, et par suite mesurer la vitesse V du courant ou enfin le volume.

Lorsqu'il ne s'agit que de mesurer la vitesse du vent, on peut même se borner à mesurer la dépression produite à l'étranglement du tube pour en déduire par cette seule mesure la vitesse V. Mais dans la mine le problème se complique. Il est facile, en effet, de reconnaître que la différence entre la pression à l'étranglement et la pression atmosphérique, autrement dit le vide absolu produit à l'étranglement d'un tube placé dans la mine, est fonction non seulement de la vitesse du courant mais encore de l'orifice équivalent de la mine. Si celui-ci ne variait pas, on pourrait se borner à la simple mesure de cette dépression; mais, en thèse générale, il faudra mesurer la différence entre cette pression à l'étranglement et la pression même qui règne dans la mine, c'est-à-dire la pression at-

mosphérique diminuée de la dépression sous l'influence de laquelle se fait la ventilation.

L'anémomètre à deux tubes, dont le dessin est représenté *fig.* 2, Pl. V, est construit en cuivre suivant les dimensions ci-après.

GRAND TUBE.

		mèt.
AB	longueur de l'embouchure cylindrique. .	0,050
AH	diamètre id. id. . .	0,100
BC	longueur du cône convergent.	0,115
CF	diamètre de la petite section	0,056
BG	id. de la grande section	0,100
CD	longueur du cône divergent.	0,450
CF	diamètre de la petite section	0,056
DE	id. de la grande section	0,094

TUBE INTÉRIEUR.

JK	longueur du cône convergent. . . . . . ,	0,040
KN	diamètre de la petite section	0,009
JO	id. de la grande section	0,029
KL	longueur du cône divergent.	0,170
KN	diamètre de la petite section.	0,009
LM	id. de la grande section	0,020

Le rapport des diamètres des deux petites sections CF et KN est de $\frac{1}{6,2}$; le rapport entre les surfaces de ces deux sections est de $\frac{1}{38,5}$.

L'angle au sommet du cône divergent est de 5° et celui du cône convergent de 21°.

Ces proportions sont celles qu'après de longues recherches et de nombreuses expériences M. Bourdon a reconnues les plus propres à donner les plus forts accroissements de dépression.

Avec un pareil tube, M. Bourdon a obtenu les résultats suivants :

	VITESSES du courant V	PRESSIONS $H = \frac{V^2}{2g}$	DÉPRESSION en CF H_1	$K_1 = \frac{H_1}{H}$	DÉPRESSION en KN H_2	$K_2 = \frac{H_2}{H_1}$	$K = K_1 K_2 = \frac{H_2}{H}$
	mètre par seconde	millim. d'eau.	millimètre d'eau		millimètre d'eau		
	5,70	2	6	3,00	24	4,00	12,00
	6,90	3	10	3,33	37	3,70	12,32
	8,00	4	14	3,50	50	3,36	12,46
	10,22	6,5	20	3.07	75	3,75	11,51
	11,30	8	27	3,37	100	3,70	12,47
	12,70	10	35	3,50	125	3,57	12,49
	15,60	15	53	3,53	190	3,58	12,64
	16,95	18	57	3,16	220	3,85	12,13
	17,90	20	65	3,25	250	3,84	12,48
	18,80	22	71	3,22	270	3,80	12,24
	20,00	25	83	3,32	315	3,79	12,58
Moyennes.	»	»	»	3,29	»	3.74	12,30
Maxima. .	»	»	»	3,50	»	4,00	12,58
Maxima . .	»	»	»	3.00	»	3,56	11,51

Dans ces expériences, M. Bourdon, opérant à l'air libre, mesurait directement H, différence de pression entre la conduite et l'air atmosphérique, par un manomètre placé près du ventilateur à bras, dans le court tuyau qui réunissait ledit ventilateur soufflant avec l'anémomètre placé à l'extrémité de ce tuyau. Les vitesses V ont été déduites, par le calcul, de la formule $V = \sqrt{2gH}$. Ce ne sont donc pas les vitesses réelles du courant que donne le tableau ci-dessus. Les dépressions en CF et KN, H_1 et H_2, sont les dépressions rapportées à la pression atmosphérique, ou les vides absolus en ces points, mesurés en mettant l'une des branches d'un manomètre à eau, formé par un tube en verre en U, en communication avec la partie rétrécie où l'on voulait mesurer la dépression, l'autre branche s'ouvrant à l'air libre.

On voit d'après ces expériences que, dans les limites où on a opéré, les dépressions aux deux étranglements sont restées dans un rapport sensiblement constant avec la pres-

sion H : de 3,29 en moyenne pour le tube extérieur et de 12,30 pour le tube intérieur.

Un appareil à deux tubes absolument identique a été essayé aux mines de Bessèges par les soins de M. Murgue. Ces essais ont été faits d'abord dans un tuyau en tôle de 3 mètres de longueur et de $0^m,30$ de diamètre, où l'on faisait passer, au moyen d'un ventilateur à bras, un courant d'air d'une vitesse jaugée à l'anémomètre, puis dans la mine, où l'appareil était placé en un point où la vitesse de l'air était parfaitement connue, par suite des mesures anémométriques précédentes, une fois que celle du ventilateur est déterminée.

Ces expériences ont donné les résultats, consignés dans les tableaux suivants.

1° Expériences faites dans une gaine en tôle.

VITESSES du courant. V	PRESSIONS correspondantes $H = \frac{V^2}{2g}$.	DÉPRESSION totale du Bourdon H_2	$K = \frac{H_2}{H}$.	VALEURS calculées par la formule A.	DIFFÉRENCES.
mètres par seconde	millimètres d'eau	millimètres d'eau		millimètres d'eau	
1,81	0,20	1,17	5,85	1,18	+ 0,01
2,95	0,53	4,88	9,20	5,08	+ 0,20
3,87	0,91	10,53	11,57	10,23	— 0,30
4,90	1,46	18,08	12,38	18,10	+ 0,02
5,71	1,99	26,78	13,46	25,86	— 0,92
6,60	2,66	34,93	13,11	35,97	+ 1,04

2° **Expériences faites dans la mine.**

VITESSES du courant V.	PRESSIONS correspondantes $H = \frac{V^2}{2g}$.	DÉPRESSION totale du Bourdon H^2.	$K = \frac{H_2}{H}$.	VALEURS calculées par la formule B.	DIFFÉRENCES.
mètres par seconde.	millimètres d'eau	millimètres d'eau		millimètres d'eau	
2,290	0,32	2,52	7,87	2,24	− 0,28
3,004	0,55	5,45	9,90	5,01	− 0,44
3,782	0,87	8,87	10,19	9,27	+ 0,40
4,302	1,13	12,09	10,70	12,85	+ 0,76
5,234	1,67	20,06	12,01	20,74	+ 0,68
5,634	1,94	24,42	12,58	24,69	+ 0,27
6,135	2,30	31,03	15,28	30,14	− 0,89
6,252	2,38	30,68	12,88	31,48	+ 0,80
6,772	2,80	39,16	13,99	37,84	− 1,32

Ces expériences diffèrent de celles de M. Bourdon en ceci que, dans les expériences de Bessèges, on a déterminé, aussi rigoureusement que possible, la vitesse V du courant, la pression H étant celle résultant par le calcul de la formule théorique $H = \frac{V^2}{2g}$; d'autre part, la dépression totale de l'appareil qu'on a relevée était obtenue en observant la différence des pressions entre l'étranglement du petit tube intérieur KN et l'extrémité du cône divergent extérieur DE, par un manomètre à deux branches, dont l'une communiquait avec KN et l'autre avec DE, seule manière dont on puisse opérer dans la mine, ainsi qu'on l'a dit.

Ces deux séries d'expériences sont parfaitement concordantes entre elles. Elles montrent que, dans les limites dans lesquelles elles ont eu lieu, le rapport de la dépression totale produite par l'appareil à la hauteur génératrice H ne reste pas constant : l'appareil *multiplie* moins pour les petites vitesses que pour les grandes.

En traçant le graphique de ces deux séries d'expériences, M. Murgue a trouvé que la relation entre la vitesse V et la

dépression H_2 indiquée par l'appareil pouvait se représenter assez fidèlement par la formule

$$(A) \qquad H_2 = 1{,}051\ (V - 0{,}75)^2$$

dans le premier cas, et par

$$(B) \qquad H_2 = 1{,}079\ (V - 0{,}85)^2$$

dans le second cas, ainsi qu'on peut en juger par les valeurs calculées et leurs différences portées dans les tableaux précédents.

De ces deux formules on peut tirer les suivantes :

$$V = 0{,}75 + 0{,}975\ \sqrt{H_2}$$
$$V = 0{,}85 + 0{,}962\ \sqrt{H_2};$$

qui donneront respectivement, dans chacun des cas, la vitesse V au point considéré en fonction de H_2 observé à l'appareil.

Le rapport de la vitesse V au point choisi dans la section à la vitesse moyenne V_m étant connu, on obtiendrait donc immédiatement cette vitesse moyenne et par suite le volume.

Le jaugeage du courant se trouverait donc finalement transformé dans la simple lecture d'une dépression que tout manomètre pourra indiquer et enregistrer si le manomètre est enregistreur, à la condition qu'on ait affaire à un manomètre à deux branches fermées, dont l'une puisse être mise en communication avec l'étranglement et l'autre avec l'extrémité de l'appareil.

Nous dirons dans le paragraphe suivant les modifications que les appareils manométriques actuels auraient à subir pour indiquer et, au besoin, enregistrer la dépression totale de l'anémomètre multiplicateur Bourdon.

Cet appareil peut donc donner, comme l'avait indiqué

M. Le Chatelier, une solution tout à fait pratique, simple et élégante, du jaugeage du courant d'air général d'une mine.

On voit seulement par ce qui précède que l'appareil à deux tubes sera d'autant plus pratique que la vitesse au point où il sera placé sera plus considérable, supérieure s'il se peut à 4 et même à 5 mètres. Ce sont là des vitesses qui ne sont pas rares en certains points particuliers des galeries générales de retour, et notamment au voisinage immédiat des ventilateurs, même avec des aérages relativements modérés.

Si par exception, par suite de trop grandes dimensions données à toutes les parties de la voie de retour par exemple, on ne pouvait trouver nulle part de points où les vitesses de l'air fussent assez grandes, on pourrait bien théoriquement recourir à un appareil à trois tubes. Suivant M. Bourdon, cette transformation doit se faire en donnant à la petite section du tube, qui formerait l'enveloppe des deux autres, une surface proportionnelle à celle des tubes ci-dessus décrits. Ainsi si

A	est la petite section du tube central;		
B	id.	id.	moyen;
C	id.	id.	extérieur.

on doit avoir : $\frac{B}{C}=\frac{A}{B}$, relation qui détermine C ; les mêmes proportions devront être observées à l'égard des longueurs. On trouverait donc pour le petit diamètre du tube extérieur 537 millim. et pour la longueur totale $5^m,247$; le grand diamètre du tube extérieur serait de 565 millim. Mais un pareil appareil serait peut-être encombrant et peu pratique dans une galerie de mine. M. Bourdon pense que, s'il fallait recourir à un appareil à trois tubes, on pourrait limiter le petit diamètre du tube extérieur à 280 millim. et la longueur à $2^m,20$: la puissance amplificatrice de l'anémo-

mètre serait un peu diminuée, tout en restant encore bien suffisante.

M. Bourdon a même construit, en vue spécialement de l'application dans les mines, un appareil à trois tubes de dimensions plus réduites, dont les données principales sont les suivantes :

	mètres.
Diamètre à la partie rétrécie du tube intérieur.	0,007.5
id. id. moyen.	0,037.0
id. id. extérieur	0,180.0
Grand diamètre du cône divergent du tube extérieur . .	0,380.0
Longueur id. id. . .	1,500.0
Angles des cônes convergents	20°
id. divergents	6°

La longueur totale de cet appareil est de 2^m,300. Les deux tubes intérieurs sont en cuivre et le tube extérieur en tôle de fer.

M. Bourdon a obtenu avec ce tube les résultats suivants :

VITESSES du courant V.	PRESSIONS correspondantes $H = \frac{V^2}{2g}$.	DÉPRESSION au premier tube.	au deuxième tube.	au troisième tube.	$K = \frac{H_3}{H}$.
mètres par seconde	millimètres d'eau	millimètres	millimètres	millimètres	
1,10	0,1	0,3	1,2	4,8	48
1,50	0,2	0,6	2,4	9,6	48
1,90	0,3	0,9	3,6	14,4	48
2,30	0,4	1,3	4,8	19,2	48
2,60	0,5	1,6	6,0	24,0	48
3,00	0,6	1,9	7,5	30,0	50
3,20	0,7	2,2	8,8	36,0	51
3,50	0,8	2,5	10,0	40,0	50
3,70	0,9	2,9	12,2	45,0	50
3,90	1,0	3,4	13,5	52,0	52
5,70	2,0	7,0	28,2	113,0	66
6,90	3,0	10,5	42,5	170,0	56
8,00	4,0	15,5	62,0	248,0	62
9,00	5,0	20,6	82,5	330.0	66
9,80	6,0	26,1	104,2	417,0	69
10,50	7,0	31,5	126,2	505,0	72
11,30	8,0	36,5	146,0	584,0	73
12,00	9,0	39,9	159,7	639,0	71
12,70	10,0	50,0	200,0	800,0	80

Cette nouvelle série d'expériences de M. Bourdon a été faite comme la première en opérant à l'air libre : on a déterminé H ainsi qu'il a été dit ci-dessus, et l'on en a déduit des valeurs de V qui ne sont non plus rien moins que réelles. On a également observé le vide absolu produit aux parties étranglées de chaque tube, c'est-à-dire la différence des pressions comparées avec celle de l'atmosphère.

On voit aussi que, dans ces expériences, le tube *amplifie* moins pour les petites vitesses que pour les grandes.

Quoi qu'il en soit, cet appareil à trois tubes pourra utilement servir, si les galeries présentent une section suffisante, pour la mesure des vitesses comprises entre $1^m,50$ et 4 mètres. L'appareil n'a pas de dimensions par trop encombrantes : tout au plus pourrait-on craindre que le petit tube n'eût une section un peu trop rétrécie et trop exposée à s'obstruer dans la mine.

En tout cas, de toutes ces observations il importe de tirer cette conclusion pratique que tout anémomètre Bourdon, avant d'être mis en service, doit être taré tout comme un anémomètre à ailettes : pour l'un comme pour l'autre de ces appareils, il en faut déterminer la formule.

Appareil Murgue pour mesurer les volumes (*). — L'appareil de M. Murgue, qui est représenté dans les *fig.* 8 et 9 de la Pl. VI, est fondé sur un principe ingénieux tout à fait nouveau. Ce principe est que la perte de charge entre deux sections d'une galerie est proportionnelle au carré de la vitesse du courant, supposée uniforme, qui circule entre ces deux sections, en d'autres termes est proportionnelle au carré du débit. On peut ainsi mesurer le débit en mesurant

---

(*) Cet appareil a été décrit et figuré par son auteur dans les *Comptes rendus mensuels de la Société de l'industrie minérale* (1880, p. 120). Il nous a paru inutile, pour ce motif, de nous étendre trop longuement sur la construction et l'installation de cet instrument.

la perte de charge, c'est-à-dire la différence des pressions entre les deux sections considérées. En prenant donc une partie de la galerie générale de retour établie dans les conditions nécessaires de régularité, de stabilité et de permanence, il suffira de placer deux tuyaux de plomb s'ouvrant, à l'abri du choc direct de l'air, dans chacune des deux sections considérées et de les faire aboutir à l'extérieur dans chacune des deux branches d'un manomètre pour que cet appareil indique la perte de charge et par suite le volume, au moyen d'une graduation appropriée.

Généralement on ne pourra opérer de la sorte, ainsi qu'on le comprend, que sur des parties relativement courtes d'une galerie; la perte de charge ou la dépression à mesurer sera donc toujours très faible. A Bessèges, où les deux stations sont distantes de 80 mètres, la perte de charge en marche ordinaire n'est que de 5 millim. Il fallait donc arriver à amplifier cette quantité pour la rendre pratiquement mesurable.

M. Murgue, le principe admis, a très ingénieusement résolu de la manière suivante toutes ces questions de détail.

Les deux branches du manomètre sont représentées par deux flacons de diamètres très inégaux A et B, afin que la dénivellation se produise presque en entier dans le plus petit B; ils sont réunis dans le bas par un tuyau de caoutchouc. En face du petit flacon est dressé un microscope C, muni d'un réticule et grossissant cinquante fois : ce microscope est monté sur un pied spécial qui permet de mesurer avec exactitude ses déplacements verticaux.

Mais il fallait tout d'abord avoir une ligne de visée très nette et bien perceptible au microscope. A cet effet, on a placé en arrière du flacon un écran noir traversé par une ligne horizontale blanche *ab*. Cette ligne est réfléchie par le ménisque convexe du petit tube, et le microscope, approché à distance, perçoit son image sous la forme d'une ligne

blanche très nette qui sert de point de repère et sur laquelle on amène le point de croisement des fils du réticule.

Pour suivre les mouvements de cette ligne de repère, le microscope est fixé, parallèlement à son axe, avec 6 millim. d'excentricité horizontale, à l'intérieur d'un petit tourillon D, qui porte sur sa face antérieure une longue aiguille de 240 millim., dont l'index se meut sur un arc de cercle gradué. Le déplacement de l'axe du microscope suivant un arc de cercle rapproché de la verticale se traduit donc par un déplacement quarante fois plus grand de l'index sur l'arc de cercle gradué. On obtient ainsi l'amplification nécessaire.

La graduation est faite directement en mètres cubes; une seule expérience de comparaison suffit pour l'établir, sachant que la dénivellation est proportionnelle au carré du débit.

Pour que l'instrument soit réglé, il faut que, lorsqu'on établit l'équilibre des pressions dans les flacons, l'index revienne au zéro. Deux robinets à trois voies ou, comme à Bessèges, deux robinets hydrauliques, K et E, permettent de donner à volonté la communication avec la mine ou avec l'air extérieur. Tout l'appareil est monté sur un pied à coulisse, dont on peut régler la hauteur à l'aide d'une vis F à filet très fin. On a donc le moyen de régler aisément et aussi souvent qu'on le veut la position du zéro.

On voit incidemment que, le microscope étant monté à coulisse dans son tourillon, on peut mesurer directement, si on le veut, la dépression, en faisant glisser verticalement l'instrument.

Cet appareil est établi depuis près de deux ans aux mines de Bessèges, où son fonctionnement a toujours été régulier, sûr et facile : il peut être considéré comme ayant reçu la sanction de la pratique.

Sans doute les oscillations continuelles qu'éprouve la ligne de visée ne permettent pas une lecture très facile : mais on arrive promptement à estimer le niveau moyen avec une approximation très suffisante pour la pratique.

Sur notre demande, M. Murgue a bien voulu faire, à diverses reprises, des expériences très concluantes qui répondent aux diverses objections qui pouvaient être faites *à priori* à son appareil, et établissent l'exactitude des résultats fournis par lui, dans la limite, tout au moins, de ce qui est nécessaire pour la pratique. Les critiques pouvaient porter, d'une part, sur l'instabilité du ménisque de capillarité sur lequel on fait réfléchir l'image *ab* et surtout sur la variation de l'angle d'incidence avec le déplacement du ménisque, et, d'autre part, sur les dispositions prises pour mesurer la perte de charge théorique entre les deux sections de la galerie. L'expérience la plus concluante, faite par M. Murgue pour répondre à toutes ces objections à la fois, est la suivante. Un dimanche, où les conditions de la mine étaient telles que rien ne pouvait en modifier l'orifice équivalent, on a fait tourner le ventilateur qui aère la mine à des vitesses successives très variées, comprises entre vingt-huit tours et quatre-vingt-dix-neuf tours par minute. On sait que le débit d'un ventilateur, lorsque l'orifice équivalent ne varie pas, est proportionnel à la vitesse de rotation. Cette proportionnalité a effectivement été marquée par l'appareil, dans les douze expériences successives, faites avec beaucoup de soin, d'une façon tout à fait satisfaisante.

L'appareil Murgue, dont le maniement est très simple, nous nous en sommes personnellement assuré, peut donc être considéré comme un appareil pratique pour déterminer très rapidement, et avec une suffisante exactitude, le volume total de l'air circulant dans une mine. C'est un bon appareil de contrôle, auquel on peut seulement reprocher de ne pas être enregistreur. L'enregistrement ne pourrait être obtenu

que par des combinaisons d'une complication qui ne serait pas acceptable pour la pratique des mines.

§ 2.

Appareils pour la mesure des dépressions.

Tube manométrique en U. — Le manomètre à eau formé par deux branches en U est l'appareil le plus répandu pour mesurer les dépressions, et, il faut bien reconnaître que, lorsqu'on ne veut pas d'enregistrement, c'est encore l'appareil le meilleur à tous égards. Seulement il faut qu'il soit convenablement établi, et, en dehors de l'Angleterre, tous les appareils usités dans les mines laissent en général beaucoup à désirer. Rien n'est fait pour combattre les mouvements trop brusques de l'eau ni pour permettre une lecture facile et exacte. Le manomètre, que l'on rencontre dans presque toutes les mines anglaises, et que nous répésentons *fig.* 1, Pl. VI, est, au contraire, parfaitement entendu à tous égards. Les deux grandes branches du tube en verre ont au moins 2 centim. de diamètre et sont distantes de 1 centim. au plus. Elles sont réunies à leur partie inférieure par un tube rétréci qui sert à arrêter les agitations trop violentes. La branche ouverte est étirée en pointe. La branche fermée est encastrée dans une monture en cuivre qui fait saillie de l'autre côté de la planchette en bois sur laquelle est posé l'instrument; c'est par là qu'avec un raccord en caoutchouc on établit la communication avec le tube venant de la mine. Entre les deux branches du manomètre se meut une réglette, portant l'échelle, dont les faces latérales sont taillées en gorge de façon à pouvoir glisser le long des tubes de verre sous l'action d'une vis commandée par le bouton A. Le zéro est au bas de l'échelle, et les divisions traversent de part en part la réglette. On peut ainsi amener commodément et exactement le zéro de

l'échelle à la hauteur du liquide dans l'une des branches et lire la valeur de la dépression à la hauteur du niveau dans la seconde branche. Un petit niveau d'eau B sert à établir l'appareil bien verticalement.

Manomètre à aiguille de M. Ochwadt. — Dans les mines royales de Sarrebrück, on emploie concurremment, avec le manomètre à tube en U ordinaire, un manomètre à indication par aiguille, dû à M. Ochwadt, et qui est représenté *fig.* 4, Pl. VI.

G et H sont deux flotteurs se mouvant dans deux vases communiquants A et B, dont l'un B communique librement avec l'atmosphère et l'autre A avec la mine par la tubulure M. Les deux flotteurs G et H sont reliés par le levier F, qui actionne la roue dentée D et le pignon E, dont l'arbre faisant saillie à l'extérieur de la caisse en fonte, par un presse-étoupe, mène l'aiguille de l'appareil sur un cadran gradué. Le levier J, relié au pignon E par le cheveu L, sert de contrepoids. K est un verrou d'arrêt pour le transport. On règle l'appareil en le mettant de niveau par les vis calantes NN et en amenant l'eau des deux vases communiquants jusqu'au niveau du trou O. L'aiguille qui se meut sur le cadran est placé entre deux repères à frottement doux qui peuvent glisser le long de la graduation sous le mouvement de l'aiguille, indiquant ainsi le maximum et le minimum de la dépression.

Les indications d'un pareil instrument n'auront jamais l'exactitude du manomètre à tube en U; mais, d'un autre autre côté, il n'est pas douteux qu'il est beaucoup plus commode de faire une lecture sur un cadran gradué qu'un mesurage par une réglette, qu'il faut faire mouvoir au préalable. Ces différences de commodités ont particulièrement de l'importance s'il faut que le mécanicien se guide, pour la conduite de la machine, sur la valeur de la dépression.

M. Ochwadt a pu rendre facilement son appareil enregistreur en faisant mener un style par le flotteur B et le faisant agir sur un cylindre entraîné par un mouvement d'horlogerie. Cet appareil est représenté extérieurement par la *fig.* 3 de la Pl. VI. Il ne diffère de celui précédemment décrit que par des détails de construction. Les deux vases communiquants A et B ont été rapprochés jusqu'au contact ; et la tubulure M, qui met le vase B en communication avec la mine, est rejetée sur le côté. Tout le rouage de l'enregistrement se trouve placé dans le réservoir X, au-dessus des deux vases communiquants.

Mouchards des mines belges. — Mais, ainsi que le faisaient remarquer déjà MM. Bia et Durant, dans le travail que nous rappelions au début de cette note, l'appareil engistreur le plus simple est sans contredit l'appareil bien connu dans les usines à gaz sous le nom de *mouchard.*

C'est, on le sait, une cloche à air renversée, plongée dans l'eau et convenablement équilibrée de façon à former flotteur. Un tuyau met le dessous de la cloche en communication avec la mine, et la cloche se meut suivant les variations de la dépression. La cloche a une force plus que suffisante pour mener le style d'un enregistreur ordinaire.

M. Dehennault-Bouillet, constructeur à Fontaine-l'Evêque (Hainaut), construit une sorte de *mouchard* imaginée par M. Tonneau, directeur des mines de Bayemont, représentée par la *fig.* 2 de la Pl. VI. Une caisse métallique circulaire ou rectangulaire est divisée en deux compartiments par la cloison en tôle *aa*, qui ne descend pas jusqu'au fond, de façon à constituer deux vases communiquants. La partie extérieure communique avec la mine et la partie intérieure communique avec l'atmosphère. Cette caisse forme ainsi un véritable manomètre à deux branches, et un flotteur, placé dans le compartiment intérieur B, suit la dénivellation et permet d'enregistrer les dépressions.

On règle l'instrument au moyen d'une ouverture pratiquée dans la paroi extérieure, et qui indique le niveau auquel l'eau doit affleurer. Des tocs métalliques placés sur une règle fixe, posée parallèlement à la direction suivie par la tige du flotteur, peuvent permettre d'établir des contacts et par suite de faire jouer des sonneries électriques d'avertissement pour le cas où la dépression atteindrait certaines valeurs maxima ou minima.

M. Dehennault-Bouillet adopte enfin, sur le devant de sa caisse, un tube en verre en U pour donner la mesure directe de la dépression.

La disposition de l'appareil de M. Dehennault-Bouillet ressemble en principe à celle de l'enregistreur Ochwadt; mais l'appareil belge est beaucoup plus simple, beaucoup mieux entendu dans ses détails, et doit certainement donner des indications plus sûres et plus exactes.

Ces *mouchards* belges, sous la forme du *mouchard* modifié des usines à gaz ou sous celle, mieux entendue peut-être, de M. Dehennault-Bouillet, se rencontrent sur plusieurs mines belges, où leur fonctionnement a toujours été très régulier. Ce sont des appareils tout à fait pratiques et sanctionnés par l'expérience.

Appareil indicateur de pression à sec. — M. H. Le Chatelier a émis l'idée d'emprunter au matériel des usines à gaz l'appareil connu sous le nom d'*indicateur de pression à sec*, et qui est représenté *fig.* 5 et 6 de la Pl. VI, tel que le construisent MM. Nicolas, Chamon, Foiret et Ce (rue Claude-Vallfaux, 31, Paris), concessionnaires du brevet. Un cylindre métallique A est fermé à sa partie supérieure par une membrane élastique B en peau de chevreau ou d'agneau huilée. A son autre extrémité, cette membrane est reliée à un disque métallique D, contre lequel vient agir l'extrémité d'un ressort F, dont l'autre extrémité s'appuie sur la traverse fixe G, de façon que la membrane

soit tendue lorsque la pression est la même sur ses deux faces. Le disque D est relié à une tige J qui actionne le fil K d'un enregistreur : l'enregistrement se fait sur un cylindre extérieur, qui se meut sous l'action d'une horloge dont on voit les rouages en L.

Le fonctionnement de l'appareil se comprend à première vue. Si l'on met la partie intérieure de la caisse A en communication avec la mine, la membrane se tendra sous l'influence de la différence des pressions qui agissent sur ses deux faces. Le disque métallique D, sous la double influence de l'élasticité de la membrane B et du ressort F, s'abaissera d'une quantité proportionnelle à la pression, et ce mouvement se trouvera enregistré par la tige J et la transmission représentée par les *fig.* 5 et 6.

Pour que l'on puisse toujours ramener au zéro la pointe du tire-ligne, lorsque les deux pressions sur la membrane sont égales, on a pris les dispositions suivantes. L'appareil auquel le tire-ligne est suspendu à l'extrémité du fil *l* est composé de deux parties : l'une, fixe, est l'appareil porteur fixé invariablement à l'extrémité du fil; l'autre, qui porte le crayon ou le tire-ligne, se meut sur une tige *d* (*fig.* 6), où elle peut être fixée par la vis de pression *b*. Tout le poids suspendu à l'extrémité du fil *l* est équilibré par un contrepoids qui se meut dans la colonne creuse H. Ce contrepoids est maintenu par une vis *a* lorsque l'on ne veut pas se servir de l'appareil.

Cet appareil est sanctionné depuis quelque temps déjà par la pratique des usines à gaz. Nous l'avons nous-même essayé aux mines de Bessèges, avec le concours de M. Murgue, et, bien que l'expérience ait été tout à fait rudimentaire, nous avons reconnu que l'appareil pouvait aussi bien s'appliquer aux mines qu'aux usines à gaz.

Il ne faut pas perdre de vue toutefois que cet appareil ne présente pas toutes les garanties d'exactitude des indicateurs à eau : il peut y avoir dans l'élasticité de la mem-

brane des variations de nature à fausser la rigueur des indications.

Appareils propres à mesurer la dépression d'un anémomètre Bourdon. — Tout manomètre à deux branches, comme nous avons déjà eu occasion de le dire, peut être employé pour mesurer la dépression d'un anémomètre multiplicateur Bourdon, pourvu que les deux branches puissent être fermées et mises en communication, l'une avec le rétrécissement du tube intérieur et l'autre avec l'ouverture ou partie large du cône divergent extérieur. Si l'on ne tenait pas à l'enregistrement, le tube en verre en U serait tout indiqué; on pourrait même l'incliner, comme l'a dit M. Le Chatelier, pour augmenter l'amplitude.

Il n'y a de difficulté pratique que pour l'enregistrement des indications de l'anémomètre, difficulté provenant de ce que les deux branches du manomètre doivent être fermées.

La difficulté ne se présente pas en météorologie lorsqu'il ne s'agit que de mesurer la vitesse du vent. Opérant à l'air libre, il suffit simplement de mesurer le vide produit à l'étranglement, soit une simple dépression par rapport à l'air atmosphérique : tous les appareils mesureurs et enregistreurs de dépression ci-dessus décrits répondent parfaitement au programme.

La nécessité, pour opérer dans la mine, de tenir fermées les deux branches du manomètre, oblige, avec les appareils ci-dessus décrits, à faire passer par un presse-étoupes la tige ou la ficelle du flotteur qui mène le style de l'enregistreur. De là deux difficultés : ou le frottement dans le presse-étoupes enlève toute sensibilité et toute exactitude à l'enregistreur ou, si l'on fait le frottement trop doux, il y aura des rentrées d'air qui, avec des dépressions aussi faibles, fausseront les résultats.

M. Bourdon a proposé, pour trancher cette difficulté, un

artifice qu'il a employé dans d'autres appareils. Il consiste à prendre, pour actionner le style de l'enregistreur, un double système de renvois par leviers, dont l'un est placé dans la chambre fermée du manomètre à l'intérieur. De la sorte on a à faire passer par un presse-étoupes un arbre tournant et non une tige glissant et il est beaucoup plus facile de rendre étanche un pareil presse-étoupes. Cette multiplicité de leviers exige seulement que l'on se serve d'un gros flotteur qui puisse donner la force nécessaire pour mener tout cet attirail et pour vaincre les frottements de l'enregistrement. L'appareil Dehennault-Bouillet paraîtrait se prêter assez bien à une pareille disposition.

M. Murgue a proposé une autre solution, ingénieuse tout au moins, applicable à l'appareil indicateur de pression à sec. Cette transformation, indiquée par la *fig.* 7 de la Pl. VI, consisterait à accoler par leurs bases deux boîtes métalliques de cet appareil et à réunir les rondelles métalliques auxquelles sont fixées les parties inférieures des membranes à un cadre rigide *abcd* sur lequel agirait un seul ressort R. Chacune des boîtes A et A' étant mise en communication avec l'un des tubes piézométriques de l'anémomètre, tandis que les faces supérieures des membranes resteraient soumises à la pression atmosphérique, le cadre *abcd* se mouvrait sous l'influence de la différence des pressions et par suite pourrait indiquer et enregistrer la dépression totale de l'anémomètre comme dans l'appareil ordinaire ci-dessus décrit.

Bref, si l'enregistrement des indications de l'anémomètre multiplicateur Bourdon dans la mine n'a pas été encore exécuté, comme il l'a été pour la vitesse du vent en météorologie, il ne paraît pas beaucoup plus difficile à réaliser et par suite il paraît possible d'obtenir, pour tout courant d'air général d'une mine, l'enregistrement continu des volumes tout comme celui des dépressions.

§ 3.

Appareils de contrôle de la marche des machines.

Jusqu'ici on n'a fait usage, pour surveiller la marche des machines de ventilateurs, que de compteurs de tours. Il est à peine besoin de rappeler que c'est là un appareil de contrôle tout à fait rudimentaire. Au point de vue technique on ne peut guère tirer parti des indications qu'il donne et, comme surveillance de la régularité du travail du mécanicien, on sait qu'on ne peut guère s'y fier à moins que ses indications ne soient relevées très fréquemment et à l'improviste, ce qui n'est guère pratique. Le compteur de tours ne sert même à peu près à rien pour guider le machiniste dans la conduite de la machine.

Ce qu'il faut c'est un instrument indiquant d'une façon bien apparente la vitesse de la machine à chaque instant ; puis, pour une bonne surveillance, l'enregistrement est encore plus indiqué ici que pour tous les autres appareils d'aérage.

On connaît aujourd'hui un assez grand nombre d'instruments destinés à résoudre ce problème industriel, la plupart fondés sur les effets produits par la force centrifuge. Un très petit nombre d'entre eux a reçu la sanction de la pratique. Nous n'en retiendrons que trois ici : les tachymètres Buss, le cinémomètre Jacquemier et le tachymètre Napoli.

Tachymètres Buss. — Ces appareils paraissent être aujourd'hui les plus répandus ; il y en a de deux sortes, dits tachymètre vertical (*fig.* 1 à 5, Pl. VII) et tachymètre horizontal (*fig.* 7 à 9, Pl. VII), le premier plus spécialement destiné aux machines fixes, le second aux locomotives et aux machines marines.

Ces appareils sont fondés sur le principe du régulateur cosinus du même inventeur.

Dans le tachymètre vertical, l'arbre dont il s'agit de mesurer la vitesse attaque par un renvoi par poulies ou par engrenages (par la poulie N dans la *fig.* 1) un arbre creux en fonte I lié à la transmission par la vis de pression W. L'arbre I se termine par une sorte de coupe *u* portant quatre saillies *a* dans lesquelles sont montés deux axes d'acier *b* qui constituent les axes des deux pendules. Ces pendules, qui forment le mécanisme principal de l'instrument, sont représentés en détail par les *fig.* 4 et 5. Ils peuvent osciller autour des axes *b* et attaquent par les broches *f* la traverse de tête L fixée au manchon creux R. Celui-ci porte à son extrémité un anneau T qui vient buter contre une plaque B.

L'arbre I venant à tourner sous l'influence de l'arbre moteur les deux pendules *d* tendent à s'écarter sons l'influence de la force centrifuge et poussent le manchon R et la plaque B vers la droite. La plaque B par l'intermédiaire de deux galets *h* transmet ce mouvement au renvoi de leviers FF, EE, lequel, par les rouages C et S, entraîne l'aiguille Z sur un cadran gradué.

Les leviers FF soulèvent en même temps le contrepoids G, dont l'action variera également avec l'écartement et par suite avec la vitesse.

Le manchon creux R, pour une vitesse donnée de l'arbre moteur et par suite de l'arbre I du tachymètre, se trouvera donc soumis à deux efforts de sens contraire, fonctions tous deux de la vitesse et augmentant avec elle, l'un provenant de l'effort résultant de la force centrifuge correspondant au déplacement des pendules, l'autre du déplacement du contre poids G. On a pu de la sorte arriver, avec des dimensions appropriées, à obtenir que les déplacements de l'aiguille sur le cadran fussent sensiblement proportionnels aux variations de la vitesse.

Cet appareil est déjà assez répandu et il paraît donner d'assez bons résultats à tous égards.

Toutefois on n'a pas pu le rendre enregistreur et il paraît difficile de le compléter à ce point de vue. On ne pourrait faire mener l'enregistreur que par la plaque B. Outre que les chemins parcourus seraient bien faibles pour donner des diagrammes de dimensions suffisantes, la plaque B n'aurait pas la force nécessaire pour mener un enregistreur, surtout s'il fallait amplifier les indications par un renvoi de leviers. Toute augmentation de résistance donnée à la plaque B compliquerait singulièrement, si elle ne rendait même impossible, la marche régulière de l'appareil.

Le tachymètre horizontal, représenté *fig.* 7, Pl. VII, ne diffère, en principe, du tachymètre vertical que par la substitution d'un ressort spiral R au contrepoids G.

L'arbre D, qui reçoit son mouvement de l'arbre moteur dont il faut mesurer la vitesse par la poulie B, se termine par une double fourche F supportant l'axe O du double pendule conique 9-9', 10-10' dont l'un a été représenté en détail *fig.* 9.

Lorsque l'arbre principal D tourne sous l'action de la poulie B, les pendules tendent à se placer perpendiculairement à l'arbre D en s'en éloignant avec une force d'autant plus grande que la vitesse de rotation de la machine est elle-même plus grande. Chacune des masses 9-9' et 10-10' est reliée à une extrémité du ressort spiral R (*fig.* 8) et la tension de ce ressort, qui tend à ramener dans l'axe de l'appareil les poids du double pendule conique, fait équilibre à la réaction centrifuge des masses qui se rapprochent, en bandant plus ou moins le ressort suivant la vitesse.

Le déplacement des pendules parallèlement à l'axe du tachymètre est transmis à une fourche 11 à l'aide d'une double articulation, permettant à la fois la rotation des masses autour du centre O et le déplacement longitudinal

de la tige 12, fixée à la tige 11 et entraînée avec elle dans le mouvement de rotation des masses pendulaires.

Les déplacements longitudinaux de la tige 12 et de sa butée à face plane 14 sont transformés en un mouvement de rotation du pignon 13 sur l'axe duquel se trouve fixée l'aiguille indicatrice K à l'aide de la bielle double 15 et de la roue dentée 16.

D'après les conditions de construction et la théorie de cet appareil, sur lesquelles il nous paraît inutile d'entrer ici dans d'autres détails, on obtient aussi, avec une grande sensibilité et une suffisante exactitude, que la division du cadran soit à peu près uniforme.

Le tachymètre horizontal a été essayé pendant plusieurs mois par la marine nationale ; ces essais ont paru assez satisfaisants pour que l'appareil ait été finalement adopté pour le service des machines à allure rapide comme celles des torpilleurs ou celles qui actionnent les pompes centrifuges, les ventilateurs, les machines photo-électriques, etc. (*)

Normalement, en effet, les appareils construits par M. Buss, tant l'horizontal que le vertical, sont faits pour donner des indications entre 250 et 1.000 tours, en supposant l'égalité des diamètres des poulies sur l'arbre moteur et sur l'arbre du tachymètre. Mais il va de soi qu'en changeant le rapport des diamètres on peut tout aussi

(*) Voici les résultats consignés dans le rapport sur les essais faits au port de Cherbourg :

NOMBRE DE TOURS OBSERVÉ		NOMBRE DE TOURS indiqué par le tachymètre.
aux compteurs.	à la montre.	
281,00	280,0	280
299,25	299,5	300
320,00	320,5	320
340,00	340,0	340
370,00	370,5	370

bien leur faire indiquer le nombre des tours d'une machine de 25 à 100 tours comme de 500 à 2.000.

Dans le cas où la commande se fera par courroies, disposition généralement préférable parce qu'elle permet d'éloigner le tachymètre de la machine, il sera bon d'employer des courroies métalliques dont le glissement est beaucoup moins à craindre.

Le tachymètre horizontal se prête beaucoup mieux à l'enregistrement que le tachymètre vertical, le ressort R permettant de disposer d'une force suffisante à cet effet. M. Buss a effectivement construit déjà un appareil de ce genre enregistreur, dit tachygraphe, mais dont la complication et le prix (600 fr.) étaient tels qu'on ne peut pas le considérer comme un appareil industriel pratique. Nous le passerons donc sous silence.

Nous croyons également inutile de mentionner les détails de construction du tachymètre horizontal qui ont tous pour effet d'éviter que les chocs et les trépidations auxquels sont exposées les machines mobiles ne réagissent sur l'appareil et ne faussent les indications de l'aiguille.

Cinémomètre Jacquemier (*). — Cet appareil est construit sur un principe fort ingénieux et tout différent de l'action de la force centrifuge sur laquelle jusqu'ici tous les tachymètres avaient été généralement établis.

M. Jacquemier s'est proposé de mesurer à chaque instant, par des liaisons purement géométriques, la différentielle $\frac{ds}{dt}$ qui représente la vitesse. A cet effet, l'appareil se compose d'un double mouvement d'horlogerie : l'un est réglé par un échappement de chronomètre qui donne des périodes Δt réglées une fois pour toutes pour chaque appa-

(*) Le cinémomètre Jacquemier a été décrit et figuré dans les *Annales industrielles*, année 1879, 1er volume.

reil; l'autre est conduit à l'aide de cames et leviers par l'arbre dont on veut mesurer la vitesse. Au terme d'une période Δt la roue dentée du deuxième mouvement, après avoir progressé de Δs, revient instantanément à son point de départ, laissant l'aiguille indicatrice immobile et indiquant Δs jusqu'à la fin de la période suivante. A ce moment l'aiguille est de nouveau soumise à l'action du deuxième mouvement, mais ne se déplacera que de la quantité dont Δs a varié entre cette nouvelle période et celle antérieure. Si donc on prend Δt suffisamment petit pour la pratique, on pourra considérer le Δs indiqué par l'aiguille comme donnant la vitesse, qui sera indiquée d'une façon continue sur un cadran.

Dans les quelques appareils Jacquemier qui aient été construits jusqu'ici par M. Paul Garnier, on a pris généralement Δt égal à une minute et exceptionnellement à une demi-minute.

La *fig.* 10, Pl. VII, permet de se rendre compte de la manière dont le problème a été résolu par M. Jacquemier, auquel nous empruntons, en partie, la description suivante :

ABCD est le rouage d'une horloge ordinaire, dont A est le barillet et D l'échappement, rouage destiné à fractionner le temps en intervalles Δt. K est un cliquet qui reçoit un mouvement de va-et-vient de la machine par le levier H et fait avancer le rochet X dans le sens de la flèche *m*; T est le cliquet d'arrêt qui empêche le rochet X de rétrograder; Y est un second rochet qui porte l'aiguille indicatrice et qui est susceptible d'être poussé dans le sens de la flèche *m* par l'action, sur un butoir *b* qui lui est fixé, d'un doigt *a* fixé sur le rochet X.

La roue C, qui appartient à l'horloge, et qui fait un tour en 36 secondes par exemple, porte un excentrique Z qui pendant 6 secondes tient le levier S levé et par suite le cliquet K écarté du rochet X et sans action sur lui. Dès

que l'action du compteur X a été ainsi suspendue, après avoir duré 30 secondes, une cheville *s*, placée sur la roue C, lève le levier I et par suite désengrène le cliquet d'arrêt V du rochet porte-aiguille Y, de sorte que si la vitesse a diminué et que le doigt *b* soit en avant du butoir *a*, le rochet Y, désengréné de son cliquet V et sollicité par le râteau N et le ressort P, revient en arrière ; *b* vient reposer sur *a* et l'aiguille indique la nouvelle vitesse. Si, au contraire, la vitesse avait augmenté, le rochet porte-aiguille Y poussé par le doigt *a* se fût trouvé indiquer tout naturellement la nouvelle vitesse et n'aurait pas eu à revenir en arrière. Ceci fait, la roue C continuant de tourner, la cheville *s* laisse retomber le levier I, et quand le cliquet d'arrêt est rengrené, que par suite l'aiguille est dans l'impossibilité de rétrograder, la cheville *s* vient soulever un autre levier J, ce qui désengrène le cliquet T et permet au rochet compteur X, sous l'action d'un second râteau semblable à N, de revenir au zéro, ce qui est déterminé par l'arrêt du doigt *a* sur un butoir *h* fixé à la platine M. Finalement l'excentrique Z laisse retomber le levier S ; le compteur recommence à marcher ; les fonctions précédentes s'accomplissent de nouveau et l'aiguille marque la nouvelle vitesse, ne s'étant déplacée, bien que le compteur soit revenu au zéro, que du changement de vitesse d'une période à l'autre.

Nous renvoyons aux publications de M. Jacquemier (voir notamment *Annales industrielles*, année 1879, pages 336 et suivantes) pour les détails de construction qui ont permis de résoudre l'instantanéité nécessaire dans les mouvements d'engrenage et de désengrenage des cliquets à la fin et au commencement de chaque période.

Cet appareil, après avoir été essayé il y a quatre ans, non sans quelque succès, paraît-il, dans la marine nationale, semble avoir été à peu près abandonné pour ne reparaître qu'à l'Exposition d'électricité.

Très séduisant par son principe même, qui ne repose que sur des liaisons géométriques, par son bon marché relatif — un appareil à périodes d'une minute ne coûte que 125 francs — plus naturellement indiqué pour les machines à faible vitesse, il est à craindre que le cinémomètre n'ait pas été construit jusqu'ici d'une façon assez robuste pour résister à l'épreuve industrielle.

Il n'a été fait, à notre connaissance du moins, des essais d'enregistrement que par l'électricité ; il ne me paraît pas utile d'insister sur ces essais, qui ne semblent guère pratiques pour le service courant des mines.

Tachymètre Napoli (*). — Le tachymètre Napoli fait partie des appareils si ingénieux du célèbre wagon-dynamomètre de la compagnie de l'Est : il n'en a pas été exécuté d'autre exemplaire que celui-là, et il n'a pas été essayé ailleurs. L'élégance et la simplicité de la solution de M. Napoli nous ont fait croire qu'il serait intéressant et utile de rappeler ici cet instrument, qu'il pourrait y avoir avantage à essayer dans l'industrie.

L'appareil est représenté *fig.* 6 de la Pl. VII, au quart de la grandeur naturelle.

Un cadre en cuivre très mobile *ee*, suspendu sur deux axes, porte à son intérieur un autre axe sur lequel sont fixées quatre ailettes en cuivre *ff*. Ces ailettes peuvent être mises en mouvement par la série d'engrenages *abcd*, parmi lesquelles *bcd* dépendent du cadre mobile ; la roue dentée *a* est au contraire calée sur l'arbre I actionné par la poulie ou l'engrenage P en rapport avec l'arbre dont il s'agit de mesurer la vitesse. Si l'on fait tourner les ailettes,

(*) Le tachymètre Napoli a été décrit et figuré dans les différentes publications que la compagnie de l'Est a faites sur son wagon-dynamomètre, publications reproduites par la *Revue générale des chemins de fer*, t. I, 1878, p. 296, et ultérieurement par les *Annales industrielles*, année 1879, 1er volume.

la résistance qu'elles éprouvent de la part de l'air, résistance qui croît avec le carré de leur vitesse et par suite avec le carré de la vitesse cherchée de l'arbre, se transmet au cadre par l'intermédiaire des engrenages *d,c* et de l'axe *cb*. Si le cadre s'appuie sur un ressort spiral *g*, ce ressort, dont l'élasticité fera équilibre à la résistance de l'air transmise au cadre, se bandera d'autant plus que la vitesse sera plus grande, et en même temps le cadre se déviera de sa position primitive d'un angle qui sera fonction du carré de la vitesse. En mettant sur le prolongement de l'axe de rotation du cadre une aiguille *h*, cette aiguille pourra donc indiquer sur un cadran, gradué convenablement, la vitesse de l'arbre à un moment donné.

Par suite de son principe et de son mode de construction, l'appareil a une force amplement suffisante pour mener un enregistreur. Dans le wagon-dynamomètre l'enregistrement est obtenu au moyen d'une poulie calée sur l'axe du cadre mobile à côté du ressort, poulie sur laquelle s'enroule le fil qui conduit un chariot à crayon, lequel est équilibré à l'autre extrémité de la bande de papier par un contrepoids qui assure en outre la tension du fil. Le chariot porte-crayon de M. Napoli est ingénieusement disposé. Il est formé par trois petits galets de cuivre qui roulent sur une règle en cuivre, deux galets au-dessus de la règle et un au-dessous.

Dans l'appareil du wagon-dynamomètre le cadran, de $0^m,10$ de diamètre, est gradué pour des vitesses du train de 0 à 100 kilom. à l'heure, et le crayon enregistreur a une course totale de 11 centim. pour cet intervalle de vitesses.

Normalement la graduation sur le cadran ne devrait pas être uniforme, pas plus que les chemins parcourus par le crayon, puisque les variations se font suivant le carré de la vitesse. M. Napoli est parvenu à rétablir l'uniformité par un artifice de disposition et de pose du ressort qui fait que

ce ressort, au lieu d'avoir une élasticité constante, a une raideur qui varie avec la carré de la vitesse. Cette solution ingénieuse, qui a pu être adoptée pour le wagon-dynamomètre, ne serait évidemment pas pratique pour des appareils d'industrie courante. Comme, en tout état de cause, l'uniformité de la graduation n'est rien moins qu'indispensable en pratique, et qu'elle ne pourrait être obtenue qu'au prix d'artifices dont l'exécution serait toujours coûteuse, le mieux sans doute serait de s'en passer.

Les bons résultats donnés par cet appareil, depuis plusieurs années, dans le wagon-dynamomètre de la compagnie de l'Est donnent lieu de croire qu'il mériterait de passer dans la pratique industrielle : il a sur ceux précédemment décrits l'avantage d'être plus simple et pourrait sans doute être livré à un prix relativement assez bas. Bien que d'apparence assez délicate, il est cependant plus robuste au fond que le cinémomètre Jacquemier, et paraît moins susceptible que celui-ci de se déranger en service (*).

(*) Nous croyons devoir signaler ici, à cause de son intérêt, bien qu'il n'ait pas encore été, à proprement parler, essayé dans la pratique industrielle, un appareil récent de M. Marcel Deprez, que la maison Carpentier avait fait figurer dans sa vitrine à l'Exposition d'électricité. Un cylindre creux en cuivre, horizontal, actionné, au moyen d'un renvoi par cordon, par l'arbre dont on veut mesurer la vitesse, tourne entre les branches d'un fort aimant naturel en fer à cheval, monté horizontalement sur un axe de façon à être extrêmement mobile. La réaction des courants d'induction déterminés dans le cylindre de cuivre, dès qu'il tourne, dévie l'aimant de sa position horizontale d'équilibre d'un angle qui est fonction de la vitesse de rotation du cylindre de cuivre et par suite de l'arbre de la machine. Une aiguille solidaire avec l'axe de rotation de l'aimant indiquera donc cette vitesse sur un cadran convenablement gradué.

Cet appareil, si la pratique en sanctionne l'usage, pourrait être rendu aisément enregistreur : on pourrait prendre sur l'axe de l'aimant toute la force nécessaire pour mener un style.

ÉTUDE

SUR

L'APPPLICATION DE LA VENTILATION ARTIFICIELLE

A L'AÉRAGE DU TUNNEL DU MONT CENIS

Par M. F. de KOSSUTH, ingénieur, directeur général des mines de Cesena.

Constatation de l'insuffisance de la ventilation spontanée. — L'aérage du tunnel du mont Cenis est insuffisant. Plusieurs cas d'asphyxie se sont manifestés dans le personnel des chemins de fer de la Haute-Italie qui exploite ce tunnel; et ce fait constitue un danger permanent pour la sécurité et la régularité du service. L'administration desdits chemins de fer s'est préoccupée de cet état de choses, comme le prouvent les mesures adoptées; nous décrirons plus bas ces mesures; qu'il nous suffise pour le moment de constater qu'elles sont absolument dépourvues d'efficacité.

Une commission franco-italienne s'occupe du sujet en ce moment; il n'est donc pas hors de propos d'y revenir et de publier l'étude que j'en ai faite il y a quelque temps.

En examinant la question de l'aérage du tunnel du mont Cenis, on est frappé de l'immensité du volume d'air qui doit se mouvoir dans le tunnel pour que celui-ci puisse avoir un aérage continu suffisamment bon et indépendant des variations des circonstances physiques naturelles. En effet, la longueur totale du tunnel entre ses deux bouches étant de 12.849 mètres et la section transversale à peu près 42 mètres carrés, le volume d'air qui doit s'y mou-

voir est de 539.696 mètres cubes. Mais ce chiffre ne donne pas une idée exacte de la quantité d'air nécessaire pour l'aérage du tunnel, attendu que cette quantité résulte du volume d'air qui doit entrer par *unité de temps* par une des bouches et sortir par l'autre.

Quantité d'air nécessaire pour une bonne ventilation. — Pour l'aérage des mines chargées de gaz délétères, on admet généralement que, pour que la ventilation soit bonne, la vitesse du courant doit être à peu près de 2 mètres par seconde; admettant cette même vitesse pour le courant dans le tunnel du mont Cenis, il en résulte qu'on devrait introduire par une des bouches et faire sortir par l'autre 84 mètres cubes d'air par seconde, soit 5.040 mètres cubes par minute et 302.400 mètres cubes par heure.

Afin de démontrer à quel point les installations actuelles sont inférieures à ces besoins, je noterai qu'à l'entrée nord fonctionnent trois aspirateurs, dont le rendement *théorique* complet est de 822 mètres cubes par minute; et en admettant même (ce qui en pratique est inadmissible) que le coefficient de rendement de ces appareils soit de 0,50, ces aspirateurs aspireraient 411 mètres cubes d'air par minute, soit moins de la douzième partie du volume qui serait nécessaire.

Faisant abstraction, quant à présent, des causes qui, dans le tunnel du mont Cenis, peuvent rendre la circulation de l'air plus ou moins difficile que dans les grandes mines, examinons si l'introduction, par des moyens artificiels, d'une quantité aussi considérable d'air dans des galeries souterraines en général est jusqu'à présent sans précédent.

Exemples de mines dans lesquelles une quantité d'air égale et supérieure est introduite par des moyens mécaniques. — Dans la mine *Hetton*, en Angleterre, la quantité

d'air qu'on fait entrer par seconde est de 81 mètres cubes, soit 4.860 mètres cubes par seconde; l'air y parcourt 11 groupes de tailles, dont le développement est d'à peu près 7 kilomètres par groupe. Dans la mine *Lower Dyffryn*, la quantité d'air est de 103 mètres cubes par seconde, soit de 6.180 mètres cubes par minute. Dans la première de ces mines, il entre par conséquent une quantité d'air à peu près égale à celle qui suffirait parfaitement pour aérer le tunnel des Alpes; — et dans la seconde mine, la quantité d'air en circulation est notablement plus grande.

S'il n'y avait pas de différence entre les conditions des galeries de mines et celles des longs souterrains de chemins de fer, il résulterait de ces exemples que la ventilation du tunnel des Alpes est un problème résolu. Cependant cette différence existe, elle est même notable, et produit sur l'aérage certains effets qui nécessitent certaines mesures spéciales, auxquelles je ferai allusion plus tard.

La diversité de conditions ne saurait être appréciée dans ses effets, sans qu'on tienne compte de toutes les lois qui régissent la ventilation des galeries souterraines.

Nous nous bornerons à énoncer ces lois sans les démontrer, pour ne pas donner à ce mémoire les dimensions d'un traité sur la ventilation des galeries souterraines; et nous renvoyons pour ces démonstrations le lecteur aux ouvrages de Combes, Ponson, Callon, Lottner, Atkinson et surtout Devillez.

Lois de la ventilation des galeries souterraines. — Les lois qui régissent l'aérage des galeries souterraines sont les suivantes :

1. Quand une galerie communique avec l'air extérieur par une seule ouverture, l'air froid, pendant l'hiver, descend suivant l'axe de l'ouverture, et l'air de la galerie, plus chaud, sort en suivant les parois. — Pendant l'été, il ne s'établira de courant qu'avec beaucoup de difficulté.

2. Le même effet a lieu quand la galerie communique avec l'extérieur par deux orifices au lieu d'un seul, dans le cas où ces orifices se trouvent dans des conditions identiques par rapport à leur niveau, leur section et leur exposition.

3. S'il y a différence de niveau entre les orifices, l'air extérieur, plus dense et froid pendant l'hiver, entre par le plus bas, et par contre, l'air extérieur, moins dense et plus chaud pendant l'été, entre par le plus élevé. Aucun mouvement n'a lieu dans les moments de transition de température ; dans ces cas, le sens du courant est incertain, et varie à chaque instant.

4. S'il y a différence de section sans différence de niveau, l'air plus froid et plus dense descend par l'orifice le plus large, et l'air plus chaud sort par le plus étroit. — Pendant l'été, le contraire a lieu.

5. La position des orifices a aussi une certaine influence sur la direction du courant, la densité de l'air environnant pouvant être affectée par cette position.

6. La facilité de la circulation de l'air est influencée par la disposition des vides souterrains, abstraction faite des rétrécissements ou des élargissements de section et des changements brusques de direction, ou encore de la nature des parois.

Cette influence, très importante au point de vue de la détermination des profils des tunnels pour chemins de fer, s'exerce de la façon suivante. L'air extérieur étant plus froid, la disposition la plus favorable à l'aérage spontané est lorsque l'air, introduit par l'ouverture plus basse, est conduite au niveau le plus bas des vides souterrains, puis horizontalement jusqu'au bas du puits de sortie d'air. Dans le cas des tunnels pour chemin de fer, la disposition plus favorable est lorsque l'orifice inférieur par où l'air entre se trouve au point le plus bas de la section longitudinale du tunnel et que l'air doit se mouvoir horizontalement jus-

qu'au pied de la rampe qui conduit à l'orifice supérieur. Par contre, la disposition la plus défavorable, l'air extérieur étant plus froid, est lorsque l'air, entré par l'orifice le plus bas, doit remonter pour redescendre de nouveau une o deux fois jusqu'à l'orifice supérieur.

S'il n'y a pas de différence de niveau entre les orifices, ou si cette différence est faible par rapport à la longueur du tunnel ou au développement des vides souterrains, la disposition qui force l'air à remonter et à redescendre suffi généralement pour déranger considérablement la ventilation spontanée.

Quand l'air extérieur est plus chaud, la disposition la plus favorable pour l'aérage spontané est lorsque l'air, entré par l'orifice supérieur, doit remonter puis redescendre, une ou plusieurs fois jusqu'à la sortie; et la moins favorable est si l'air, entré par l'orifice supérieur, est condui (dans le cas des mines) au niveau le plus bas des vides souterrains, et de là horizontalement au pied de la voie de sortie.

7. Les émanations gazeuses influent sur la facilité de la circulation spontanée de l'air. — Les variations produites par ces causes peuvent avoir lieu dans le sens de celles dues aux changements de température ou bien dans le sens contraire, c'est-à-dire activer ou ralentir la ventilation selon la concordance ou la discordance de ces éléments.

Les émanations de gaz moins denses que l'air, comme par exemple la vapeur d'eau, les hydrogènes carbonés, l'oxyde de carbone, produisent le même effet que l'élévation de température; — les gaz acide carbonique et acide sulfhydrique agissent en sens contraire; de façon que, lorsque l'air intérieur est plus chaud, la présence des gaz moins denses que l'air vient en aide à la ventilation spontanée; lorsque, par contre, l'air intérieur est plus froid, elle dérange cette ventilation; — le contraire a lieu pour les gaz plus denses que l'air.

8. L'air, dans son mouvement dans les galeries, éprouve des résistances qui sont directement proportionnelles à la longueur de ces galeries, au périmètre de leur section, au carré de la vitesse du courant, et inversement proportionnelles à l'aire de la section.

9. Quand l'équilibre est rompu, et qu'un mouvement d'air a lieu pendant l'hiver, la vitesse du courant croît depuis le commencement du mouvement jusqu'au moment où cette vitesse atteint son maximum; pendant l'été, par contre, le maxima aura lieu au commencement du mouvement.

10. La vitesse du mouvement de l'air dans les galeries (toutes les autres circonstances restant les mêmes) est directement proportionnelle à la racine carrée de la différence de température des colonnes d'air ascendante et descendante.

11. Les vitesses des courants entrant et sortant ont entre elles un rapport égal à la racine carrée de la hauteur de la colonne d'air plus chaude.

12. Dans les galeries d'égale section, les vitesses des courants (toutes autres causes restant les mêmes) sont inversement proportionnelles à la racine carrée des longueurs des vides.

13. Le volume d'air qui circule dans les vides souterrains, quand les sections tranversales des galeries sont des figures semblables, est d'autant plus grande que la section est plus grande; cette loi est une conséquence de celle que que j'ai exposée sous le n° 8.

14. Le volume d'air qui circule dans les galeries est inversement proportionnelle à la longueur du périmètre de la section; — ce qui découle également de la loi n° 8.

15. Deux galeries de la même longueur et placées dans les mêmes conditions, donneront des volumes d'air proportionnels aux aires de leurs sections respectives; et la vitesse du courant étant en raison directe des volumes

d'air et en raison inverse des sections sera identique dans les deux cas. — Il résulte de ce qui précède que si deux puits ou autres orifices de vides souterrains sont reliés par deux galeries parallèles de même forme et de section identiques, ces orifices fourniront spontanément des volumes d'air à peu près doubles des volumes qu'ils pourraient fournir s'ils n'étaient reliées que par une seule galerie, leurs sections restant les mêmes, pourvu que l'aire des sections de chaque orifice soit égale ou supérieure à la somme des sections respectives des deux galeries.

Conditions dans lesquelles se trouve le tunnel du mont Cenis pour une ventilation spontanée. — Ayant ainsi rappelé les plus importantes des lois qui régissent la circulation de l'air dans les galeries souterraines, je passerai à l'examen des conditions dans lesquelles se trouve le grand tunnel du mont Cenis au point de vue de la ventilation spontanée.

Ce tunnel a son orifice inférieur à Modane, au nord, et l'orifice supérieur à Bardonnèche, au sud. Le profil longitudinal du tunnel est le suivant : la voie remonte à partir de l'orifice nord à raison de 23 millimètres par mètre, à peu près sur une longueur de 6.068 mètres; et moyennant cette rampe elle rachète 139 mètres de différence de niveau entre le point culminant du tunnel et l'orifice de Modane; de ce point, la voie commence à descendre vers l'orifice sud, qu'elle atteint après 6.781 mètres de parcours, avec des pentes toutes inclinées dans le même sens, variant de 0,50 à 1 millimètre par mètre.

En se rappelant les principes fondamentaux que nous avons exposés sous le n° 6, on voit que le tracé du profil du tunnel est la plus défavorable qu'on ait pu choisir pour la ventilation spontanée toutes les fois que l'air extérieur est plus froid que l'intérieur; — et par contre est le plus favorable lorsque l'air extérieur est le plus chaud.

De fait, l'air extérieur plus froid, entré par l'orifice inférieur

doit monter pour redescendre jusqu'à la sortie, disposition qui rend l'aérage spontané très difficile dans le cas où la différence de niveau entre les deux orifices est faible par rapport à la longueur de la galerie. (Voyez la loi n° 6.).

Ainsi encore, l'air extérieur plus chaud, entré par l'orifice supérieur, doit monter pour redescendre jusqu'à l'orifice inférieur. Comme dans les Alpes pendant la majeure partie de l'année, l'air extérieur est plus froid que l'air intérieur, *le profil du tunnel du mont Cenis est très défavorable à l'aérage spontané.*

A cette condition défavorable s'ajoute l'insuffisance de différence de niveau entre les orifices par rapport à la longueur du tunnel; de fait cette différence de niveau n'est que de 133 mètres seulement, tandis que la longueur du souterrain est de 12.849,^{m}92. L'effet de la différence de densité due à cette petite différence de niveau est absorbé en grande partie par les résistances qui s'opposent au mouvement de l'air, lesquelles sont proportionnelles à la longueur du tunnel et au périmètre de sa section, tous les deux très grands; — du reste, ces résistances sont augmentées par la présence du gaz acide carbonique développé en grande abondance par la combustion du charbon sur les grilles des locomotives.

Une autre condition défavorable est que les deux embouchures ont la même section.

Il résulte de ces faits que l'ensemble des conditions dans lesquelles se trouve le tunnel n'est pas favorable à une ventilation spontanée facile.

La circulation de l'air dans le tunnel est en outre affectée par le mouvement des trains toutes fois que ces trains se meuvent en sens contraire à la direction du courant. En effet, ces trains produisent en se mouvant un vide relatif, vers lequel sont sollicitées les molécules d'air; de plus, ils sont en outre animés d'une force vive qu'ils communiquent à l'air environnant. — Voilà donc deux causes qui produi-

sent un mouvement en sens inverse du courant naturel toutes les fois que les trains marchent contre ce courant.

Comme il passe en moyenne dans le tunnel du mont Cenis 11 trains dans chaque sens pendant 24 heures, et comme chacun de ces trains met une demi-heure à parcourir le tunnel, il s'ensuit que pendant 11 heures sur 24 il y a des trains en mouvement dans le tunnel; et quelle que soit la direction naturelle du courant d'air pendant 11 demi-heures sur 24 heures, soit pendant 5 heures 1/2, le mouvement des trains sera toujours de sens contraire à celui du courant d'air naturel.

Ajoutons à cela qu'après chaque perturbation de la direction normale du courant par suite d'une des causes susdites, il faut toujours un laps de temps plus ou moins long pour que les conditions normales puissent se rétablir.

Non seulement le passage des trains crée un vide relatif vers lequel l'air ambiant afflue et communique à une partie de cet air la force vive du mouvement du train, mais encore toutes ces causes produisent dans l'air des remous qui rendent la ventilation spontanée de plus en plus difficile.

Détermination de la quantité des gaz nuisibles développés dans le tunnel. — Tandis que toutes ces causes se manifestent pour rendre l'aérage spontané du tunnel moins facile, l'air de la galerie est constamment et notablement vicié par les produits de la combustion du charbon sur les grilles des locomotives et par la vapeur d'eau que ces machines émettent avec ces produits.

A cette cause de viciement de l'air ambiant s'ajoute la respiration des êtres humains transportés par les trains et les produits de la combustion des lampes. — Ces sources de mauvais gaz sont cependant tellement peu importantes par rapport à la combustion sur les grilles des locomotives qu'on peut les négliger.

Dans les 24 heures, 13 locomotives traversent le tunnel

dans chaque sens, et, en outre, 3 machines de renfort y circulent pour pousser les trains jusqu'au kilomètre 7. Ces locomotives brûlent chacune 7 quintaux de charbon pendant la traversée du tunnel; de façon que, chaque 24 heures, les produits de la combustion de 203 quintaux de charbon se trouvent mêlés à l'air de la galerie. Ces produits sont principalement le gaz acide carbonique, le protocarbure d'hydrogène C^2H^4, l'oxyde de carbone, l'hydrogène et l'azote.

Il est notoire que la proportion dans laquelle ces gaz sont produits par un même combustible varient suivant la rapidité de la marche de la machine et le temps depuis lequel le charbon frais a été chargé sur la grille. Ainsi, par exemple, les expériences de Commines de Marsilly (*Bulletin de la Société d'encouragement* 1862) ont constaté les proportions suivantes de ces gaz, produits sur la grille d'une machine à marchandises du Creusot :

	CO^2	O	C^2H^4	CO	H	Az
1/2 minute après le départ	14,20	»	2,80	»	2,80	80,20
4 id. id. . . .	13,10	»	2,22	4,46	5,02	75,20
9 id. id. . . .	11,25	»	1,00	8,25	4,65	74,85

De même les expériences de MM. Foucou et Amigues, faites sur le chemin de fer de Paris à Chartres, et reproduites par Péclet, ont donné les résultats suivants pour les vitesses, à l'heure, de :

		18 KILOM.	40 KILOM.	50 KILOM.	AU REPOS.
Gaz produits.	CO^2	14,00	17,05	17,45	11,15
	CO.	4,95	2,10	1,80	7,24
	H	0,15	0,05	0,40	1,35
	O	4,45	1,95	2,70	4,20
	Az.	76,40	78,80	77,65	74,00
	C^2H^4 . . .	0,05	0,05	0,00	2,06

Les variations dues à la composition des charbons employés sont aussi très grandes.

Il est évident par conséquent que la composition précise des gaz qui sont versés dans l'air du tunnel chaque 24 heures, varie considérablement; nous devons donc nous borner à choisir un exemple qui puisse donner une idée des quantités de ces gaz, ainsi que des quantités d'air absorbé pour la formation de certains d'entre eux.

Supposons que le combustible brûlé se compose de 0,7954 de carbone, 0,0563 d'hydrogène et 0,1483 d'oxygène et azote par chaque kilogramme.

La quantité d'azote est si petite qu'on peut sans inconvénient la négliger; et comme pour brûler 1 kilog. d'hydrogène il faut 8 kilog. d'oxygène, dans le combustible en question, la quantité d'hydrogène libre se ramème à $0{,}0563 - \frac{0{,}148}{8} = 0{,}378$ par kilogramme.

Il nous reste donc à examiner le volume des gaz produit par la combustion de 0,795 de carbone et 0,038 d'hydrogène libre.

La combustion du charbon sur les foyers est en partie parfaite et en partie imparfaite; dans le premier cas, il se forme du gaz acide carbonique, dans le second du gaz oxyde de carbone.

L'expérience seule pourrait démontrer dans quelles proportions relatives ces gaz se forment dans les locomotives qui parcourent le tunnel; — ces données expérimentales faisant défaut, nous admettrons la proportion observée par Foucou et mentionnée par Petitpierre dans son *Mémoire sur la combustion* pour une vitesse de marche de 25 kilom. à l'heure, ce qui correspond à peu près à celle des trains circulant dans le tunnel du mont Cenis; cette proportion est en poids de 14,70 de gaz acide carbonique et 4,82 d'oxyde de carbone; d'où il résulte que le volume d'acide carbonique est de 9,61 et celui de l'oxyde de carbone 4,98. Et

puisque dans 1 mètre cube de gaz acide carbonique il y a 0^{kg},549 de carbone et dans 1 mètre cube de gaz oxyde de carbone il y a 0^{kg},537 de carbone, en rapportant ces poids de carbone aux proportions susdites de gaz acide carbonique et d'oxyde de carbone, et ensuite au carbone contenu dans le combustible choisi pour exemple on trouve (après déduction, selon Scheurer-Kestner, de 1 p. 100 pour perte en fumée) que, des 0,787 de carbone, 0,522 sont brûlés complètement en formant du gaz acide carbonique, et 0,265 sont brûlés incomplètement en formant du gaz oxyde de carbone.

Nous avons déjà indiqué que, par chaque 24 heures, 13 locomotives parcourent le tunnel dans chaque sens, et que, jusqu'au kilomètre 7, il y a en outre 3 locomotives de renfort par jour; la consommation des locomotives jusqu'au kilomètre 7 est de 7 quintaux, et par conséquent ces machines brûlent, par 24 heures, 20.300 kilog. de charbon dans le tunnel.

En admettant une proportion de cendres de 5 p. 100, il reste 19.285 kilog., dans lesquels, d'après les proportions susdites, il y 15.330 kilog. de carbone pur, desquels, en déduisant 1 p. 100 pour perte de fumée, il reste 15.186 kilog.; sur ces 15.186 kilog., 1.073 kilog. seront brûlées parfaitement et 5.113 imparfaitement.

Comme dans 1 mètre cube de gaz acide carbonique, il y a 0^{kg},549 de carbone, et dans chaque 1 mètre cube de gaz oxyde de carbone, il y a 0^{kg},537 de carbone; ces 10.073 kilog. de carbone produiront 18.348 mètres cubes de gaz acide carbonique, et ces 5.113 kilog. de carbone produiront 9.521 mètres cubes de gaz oxyde de carbone.

Pour la production de ces gaz, une certaine quantité d'air se trouve décomposée et privée de son oxygène; en mettant pour la composition de l'air, en volume par unité,

Acide carbonique	0,0005
Vapeur d'eau	0,0125
Oxygène	0,2050
Azote	0,7820
	1,0000

le poids de ces gaz, contenus dans 1 mètre cube d'air à 15°, sous une pression de $0^m,760$, aux trois quarts saturé d'eau, sera

Acide carbonique	$0^k,001$
Vapeur d'eau	0 ,010
Oxygène	0 ,278
Azote	0 ,925
Poids d'un mètre cube d'air	$1^k,214$

poids de 1 mètre cube d'air $1^{kg},214$.

Par conséquent, le volume d'air, qui contient 1 kilog. d'oxygène, est égal à $3^{m^3},6$.

Pour la combustion complète du carbone, deux équivalents d'oxygène sont nécessaires; ces deux équivalents pesant ensemble 16 et un équivalent de carbone pesant 6, 1 kilog. de carbone absorbe, en se convertissant en acide carbonique, $\frac{16}{6}$ de kilogramme d'oxygène, et pour obtenir cette quantité d'oxygène, $3^{m^3},6 \times \frac{16}{6} = 9^{m^3},6$ d'airs ont décomposés.

Pour la formation du gaz oxyde de carbone, un équivavalent de carbone s'unit à un d'oxygène; par conséquent 1 kilog. de carbone absorbe, pour se transformer en oxyde de carbone $\frac{8}{6}$ de kilogramme d'oxygène, $3,6 \times \frac{8}{6} = 4^{m^3},80$ d'air sont décomposés.

Comme dans les 24 heures 10.073 kilog. de carbone pur sont tranformés en acide carbonique, la quantité d'air décomposé par cette combustion est de $9,6 \times 10.073 =$

96.700 mètres cubes; et puisque 5.113 kilog. de carbone pur sont transformés en oxyde de carbone, la quantité d'air décomposé pour cela est $4,8 \times 5.113 = 24.543$ mètres cubes.

Il en résulte que, dans les 24 heures, 75.619 mètres cubes d'azote sont abandonnés par le fait de la production du gaz acide carbonique, et 16.192 mètres cubes du même gaz par le fait de la production du gaz oxyde de carbone.

Nous avons déjà fait remarquer qu'il doit rester une certaine quantité d'hydrogène libre pour la combustion duquel une certaine quantité d'air sera privée de son oxygène. Pour la combustion de chaque kilogramme d'hydrogène, il faut 8 kilog. d'oxygène; par conséquent, le volume d'air décomposé est de $3,6 \times 8 = 28,8$ mètres cubes; et comme la quantité d'hydrogène libre restant par kilogramme du combustible est de 0,038 sur les 19.285 kilog., il y a 733 kilog. d'hydrogène dont la combustion exige $733 \times \times 28,8 = 21.110$ mètres cubes d'air, qui abandonneront 16.508 mètres cubes d'azote.

En résumé, la formation des susdits gaz acide carbonique et oxyde de carbone, ainsi que la combustion de l'hydrogène libre, auront pour effet la production de 111,312 mètres cubes d'azote dans les 24 heures.

Ces calculs n'expriment pas les volumes des produits de la combustion qui sortent des cheminées des locomotives à une température de 300° à peu près, et qui sont mélangés à un excès d'air, mais cet excès d'air ne se décompose pas, et le volume des produits de la combustion devient ce que nous avons trouvé plus haut dès que les gaz sont revenus à la température normale.

La vapeur d'eau est aussi l'une des causes qui tendent à vicier l'air ambiant, de manière à ralentir dans certains cas la ventilation spontanée, notamment lorsque l'air de la galerie est plus froid que l'air extérieur; et telle est uniquement la raison pour laquelle nous donnerons une idée ap-

proximative de son volume; supposant que 1 kilog. de combustible brûlé produise 9 kilog. de vapeur, lesdits 20.300 kilog. produiront 182.700 kilog. de vapeur, qui sort, mettons, à une atmosphère et demie de pression; le volume de 1 kilog. de cette vapeur étant de 1,127 mètres cubes, le volume de vapeur d'eau émise dans le tunnel par 24 heures sera de 205.902 mètres cubes.

En résumé on aura donc pour volumes des gaz produits dans le tunnel du mont Cénis par 24 heures :

Gaz acide carbonique . .	18.348	mètres cubes.
Oxyde de carbone. . . .	9.521	—
Azote	111.312	—
Vapeur d'eau	205.902	—

Quanités d'air nécessaire pour diluer les gaz délétères produits par la combustion sur les grilles des locomotives. — Les produits de la combustion du charbon, mélangés à l'air en certaines proportions, rendent l'air impropre à la respiration.

L'air contenant 8 p. 100 de gaz acide carbonique produit l'asphyxie instantanée; l'air contenant 5 p. 100 de ce gaz cesse d'alimenter la combustion et produit un commencement d'asphyxie; on ne saurait considérer comme bon de l'air contenant plus de 1 p. 100 de ce gaz.

L'air contenant 7 p. 100 d'oxyde de carbone est mortel.

De même l'air qui ne contient plus que 15 p. 100 d'oxygène cesse d'être respirable.

La présence de l'azote en excès dans l'air est loin d'être aussi pernicieuse que celle des deux premiers gaz; et comme entre ceux-ci le gaz acide carbonique est formé en plus grande quantité, il nous suffira d'analyser l'air ambiant au point de vue de la présence de ce gaz, attendu que tel courant qui suffira à diluer et à entraîner le gaz acide carbonique sera *à fortiori* suffisant pour expulser l'oxyde de carbone.

Nous avons vu qu'en 24 heures 29 locomotives circulent dans le tunnel; en supposant qu'elles émettent toutes le même volume de gaz, chacune émettra pendant son passage 633 mètres cubes de gaz acide carbonique. Comme il y a en tout 22 trains, il résulte que 7 trains ont deux locomotive. Chaque train met à peu près une demi-heure pour ranchir le tunnel; ils se meuvent par conséquent avec une vitesse de 7 mètres par seconde, tandis que, dans l'hypothèse de l'introduction de 84 mètres cubes d'air par seconde, l'air parcourerait dans le tunnel 2 mètres linéaires par seconde.

Cela posé, nous examinerons les conditions de l'air ambiant, lorsque les trains se meuvent dans le même sens que le courant d'air frais. Le plan des rails est en pente vers les orifices, le plan incliné vers Bardonnèche a 6.780 mètres de longueur, celui vers Modane est de 6.068 mètres. Supposons que l'air se meuve de l'orifice nord (Modane) qui est l'inférieur à l'orifice sud (Bardonnèche) qui est le plus élevé. La consommation du combustible a lieu, presque pour la totalité, pendant que les trains gravissent les rampes; on pourra admettre que tout le combustible est consommé sur ce trajet; il en résulte que dans le pire des cas $2 \times 633 = 1.266$ mètres cubes de gaz acide carbonique sont émis dans le parcours de 6.068 mètres de tunnel. Les trains marchant à une vitesse de 7 mètres et l'air à une vitesse de 2 mètres par seconde, le train sera arrivé à 6.068 mètres de l'embouchure, lorsque l'air pur n'aura parcouru que 2/7 de cette distance; par conséquent tout le gaz acide carbonique sera dilué dans les 5/7 des 6.068 mètres, soit en $4.335 \times 42 = 182.070$ mètres cubes d'air; d'où la proportion sera de 0,69 p. 100.

Supposons maintenant que le train se meuvent dans le sens contraire au courant; dans ce cas, le train parcourt 7 mètres dans un sens, tandis que l'air parcourt 2 mètres dans le sens opposé par chaque seconde; pendant ce temps

$0^{m3},7$ de gaz acide carbonique auront été émis et ce volume sera dilué en $9 \times 42 = 378$ mètres cubes d'air; d'où la proportion sera du 0,18 p. 100.

Or, par 24 heures, onze trains passent en chaque sens, par conséquent chaque heure et six minutes un train entre dans le tunnel; tandis que l'air met 6.424 secondes, soit $1^h 47$ pour passer d'un orifice à l'autre; il résulte donc que, pour une certaine longueur de la galerie et pour la période maxima de 16 minutes, il y aura la proportion maxima de 0,87 p. 100 de gaz acide carbonique dans l'air ambiant; tandis que d'autres parties du tunnel, pour des lapses de temps périodiques, en contiendront moins, et d'autres encore, pas du tout.

En rappelant que l'air devient mortel seulement quand la proportion de gaz acide carbonique est de 8 p. 100 e que s'il ne dépasse pas le 1 p. 100 il est parfaitement respirable, surtout quand il alterne avec de l'air parfaitement pur, il apparaît clairement qu'avec un courant tel que celui que nous avons admis, soit de 84 mètres cubes d'air par seconde, le tunnel du mont Cénis se trouverait constamment, et sur tout son parcours, convenablement aéré.

Temps au bout duquel l'atmosphère du tunnel deviendrait asphyxiante si la ventilation cessait. — Si la ventilation cessait, ou si, par l'action des causes physiques qui produisent le mouvement de l'air, ce mouvement devenait incertain et vacillant, dans ce cas en une journée et demie l'air ambiant du tunnel deviendrait impropre à la combustion par excès de gaz acide carbonique, et les cas d'asphyxie ou de commencement d'asphyxie se multiplieraient.

Dans ce cas la présence de l'azote exercerait une influence qu'on ne saurait perdre de vue, attendu qu'après 24 heures la proportion d'oxygène dans l'air ambiant serait réduite à 16,45 p. 100, soit très près de la limite à laquelle l'air

cesserait complètement d'être respirable, en ne tenant naturellement pas compte de la puissance de diffusion de l'oxygène, qui est notoirement considérable.

Description des moyens actuellement en usage pour aider la ventilation naturelle. — Les moyens actuellement en usage pour diminuer les inconvénients dus à l'insuffisance de la ventilation sont de deux sortes.

De l'air pur comprimé est introduit dans le tunnel, et de l'air vicié en est aspiré.

Les faits que nous exposerons ci-dessous, comparés aux besoins d'une bonne ventilation, et aux causes de viciement que nous avons analysées, démontreront à quel degré les mesures actuelles seraient insuffisantes, même si leur mode d'application était sans reproche.

A Bardonnèche fonctionnent cinq compresseurs; le diamètre des pistons et des chambres de compression est de $0^m,60$; la course $1^m,30$. La compression est faite à 6 atmosphères, et chaque groupe emmagasinerait dans les réservoires à peu près 96 mètres cubes par heure. De ces réservoires partent des tubes de $0^m,15$ de diamètre intérieur, qui se prolongent au niveau du sol à 12 kilom. et demi dans le tunnel; tous les 250 mètres sont fixés dans ces tuyaux d'autres de $0^m,02$ de diamètre intérieur, lesquels conduisent l'air comprimé aux robinets d'échappement des chambres de refuge et des niches qui ont été créées le long du tunnel; les premières sont au nombre de douze en tout, soit une par kilomètre dans lesquelles les robinets d'échappement d'air sont toujours ouverts; dans les secondes, les robinets sont fermés, et servent seulement à donner l'air aux ouvriers qui n'auraient pas le temps de se porter en cas de besoin aux chambres de refuge. La pression de l'air devrait être de 2 atmosphères et demi au dernier au robinet; mais, en raison des fuites, elle est à peine supérieure à la pression atmosphérique normale.

Le rendement théorique de ces compresseurs égal à 96 mètres cubes, comme nous l'avons mentionné, doit être corrigé par un coefficient que la pratique a fixé à 0,70, le rendement effectif est, par conséquent, de 65 mètres cubes.

Avec ce rendement, on obtient des cinq compresseurs qui fonctionnent 325 mètres cubes d'air à 1 atmosphère, avec lesquels, en tenant compte du passage de 6 à 1 atmosphère, il faudrait 275 heures pour renouveler l'air du tunnel.

Si les deux derniers compresseurs étaient également mis en mouvement, et avec des réparations radicales, on obtiendrait 455 mètres cubes d'air, avec lesquels, en 197 heures, on renouvellerait l'air du tunnel.

En 1873, l'administration des chemins de fer de la Haute Italie a songé à essayer un système d'aspiration d'air, moyennant l'emploi des aspirateurs qui avaient servi à cet usage à l'orifice nord pendant le percement du tunnel. Trois machines hydrauliques, alimentées par une colonne d'eau de 70 mètres de chute, communiquent le mouvement à trois pompes aspirantes, dont les cloches ont 5 mètres de diamètre, et qui donnent sept coups par minute avec une course de 2 mètres. Les cylindres d'aspiration sont reliés à une conduite de 0,80 × 0,80 de section, qui parcourt le tunnel jusque vers la moitié de sa longueur; sur cette conduite sont ouvertes sept bouches de prise d'air, placées à 1 kilom. l'une de l'autre, ayant 0,30 × 0,45 de section. Les aspirateurs aspirent un volume théorique de 274 mètres cubes à peu près chacun, ce qui avec le coefficient de 0,50 (déjà exagéré) se réduirait à 137 mètres cubes en pratique. Cela posé, avec les trois cloches qui fonctionnent actuellement, le volume d'air extrait serait de 411 mètres cubes par minute, soit 24.660 mètres cubes à l'heure, tandis que la quantité d'air nécessaire pour une bonne ventilation est de 302.400 mètres cubes par heure, comme nous l'avons déjà fait noter.

L'insuffisance des moyens de ventilation artificielle est par conséquent évidente ; cependant les deux dispositionss que nous venons de décrire doivent être appréciées bien différemment l'une de l'autre.

L'injection de l'air comprimé n'a pas pour but de ventiler le tunnel ni même d'en améliorer sensiblement l'atmosphère ; le rendement précité des compresseurs est trop inférieur aux besoins pour que tel puisse être l'objet en vue ; cette disposition a uniquement pour objet d'offrir aux ouvriers, menacés d'asphyxie et accablés par la chaleur, des sources d'air pur qui, par le fait de l'expansion de l'air comprimé à sa sortie des robinets d'échappement, est aussi relativement froid.

Examiné de ce point de vue l'injection de l'air comprimé est une mesure salutaire.

Par contre, le système d'aspiration adopté à l'autre embouchure du tunnel ne saurait être justifié d'aucune façon.

Inconvénients graves des moyens actuellement employés. — Pour peu qu'on veuille tenir compte des lois qui président au mouvement de l'air dans les galeries souterraines, on s'apercevra tout de suite que les moyens actuels de purification artificielle de l'air dérangent considérablement l'aérage du tunnel et le rendent plus difficile.

En effet, les jets d'air comprimé qui sortent des 12 robinets placés dans les 12 chambres de refuge sont autant de points vers lesquels l'air du tunnel est attiré sur une certaine longueur linéaire de la galerie. Cet effet a lieu par suite de la force vive que possèdent ces jets d'air comprimé, laquelle entraîne l'air ambiant en contact avec ces jets, tandis que les molécules d'air voisines de celles entraînées remplacent celles-ci et ainsi de suite jusqu'à ce que l'effet de ladite force vive se perde après avoir ainsi créé des courants d'air qui convergent vers les jets et les accompagnent jusqu'à ce que l'expansion de l'air injecté soit épuisée.

Il ne serait pas difficile de calculer la valeur de cette force vive; supposons par exemple que par un des robinets d'échappement d'air comprimé sorte 1 kilog. d'air à 5 atmosphères absolues, et que l'échappement se fasse dans un milieu à la pression atmosphérique de $0^m,760$ de mercure et à la température de $0°$ (pour simplifier les calculs).

La vitesse maxima d'échappement sera

$$V = \sqrt{2g \times h \times 0{,}76 \frac{D}{d}}$$

où

D = poids d'un mètre cube de mercure = 13.596 kilog.
d = poids d'un mètre cube d'air à $0°$ à 5 atmosphères
= $5 \times 1^k,293 = 6^k,465$.

nous aurons donc

$$V = 354 \text{ mètres et } V^2 = 125.444,$$

et la demi-force vive d'un kilog. de cet air sera

$$\frac{1 \text{ kilog.} \times (354)^2}{19{,}62} = 6.392 \text{ kilogrammètres.}$$

Il est certain que les jets d'air ne sont pas des moyens économiques pour produire des courants, toutes les expériences de ventilation des galeries par ce moyen ayant donné des résultats très peu satisfaisants(*). En effet en conservant l'exemple choisi, la force vive d'un jet d'air dans lesdites conditions ne représenterait que les 0,498 du travail dépensé pour le produire; cependant il est de toute évidence, comme nous venons de le démontrer, qu'en théorie comme en pratique les jets d'air comprimé produisent des courants qui se meuvent dans le même sens que ces jets; il est donc absolument certain qu'aux 12 points d'échappement d'air comprimé dans le tunnel il y a autant de centres vers lesquels convergent des courants d'air par-

(*) Devillez, *Ventilation des mines*.

tiels. Il résulte de ceci que quelle que soit la direction du courant général elle est opposée en 12 points à celle des courants locaux. La puissance de ces courants locaux peut ne pas être suffisante dans certains moments pour surmonter celle du courant spontané normal et dans ce cas les anémomètres ne signaleront pas l'existence de ces courants; il n'en est pas moins vrai qu'une partie de la force du courant normal devra être dépensée à vaincre ces courants partiels et, le courant normal sera ralenti en conséquence et diminué en proportion, ou même en certains cas complètement paralysé.

Les jets d'air comprimé produisent encore un autre effet nuisible à la ventilation spontanée lorsque celle-ci tend à se produire par le fait que l'air intérieur est plus chaud que l'extérieur, ce qui, sur les montagnes des Alpes, a lieu la majeure partie de l'année. En effet, tandis que la quantité d'air pur que les jets apportent dans la galerie ne modifie pas sensiblement la qualité de l'air ambiant, ces jets refroidissent cet air, soit par le fait de leur température normale, soit par le fait du froid produit par l'expansion autour de chaque jet. Ces jets concourent par conséquent à diminuer la différence de température entre l'air extérieur et l'atmosphère intérieure et à diminuer ainsi l'élément auquel est due la ventilation spontanée.

En outre, ces jets produisent des courants intérieurs indépendamment de l'action de leur force vive que nous avons notée. En effet, comme nous l'avons observé plusieurs fois, ils refroidissent l'air dans leur voisinage, tandis qu'à d'autres points intermédiaires entre deux jets consécutifs la température reste plus élevée; il s'ensuit donc que des courants partiels se produisent, créés par les différences de densité de l'air ambiant dues à cette cause.

Il résulte donc de ce qui précède que le soulagement apporté par ces jets d'air aux ouvriers qui travaillent dans le tunnel est obtenu au prix de très graves inconvénients,

qui concourent tous à rendre les conditions du tunnel pour un aérage spontané de plus en plus difficile.

Quant à l'autre expédient employé à l'orifice nord et qui consiste dans l'aspiration de l'air suivant le système que nous avons décrit, on ne pourrait dire que peu de chose ou rien en sa faveur, soit au point de vue scientifique, soit au point de vue pratique. En effet, les aspirateurs aspirent l'air, comme nous l'avons dit, par une conduite intérieure ayant 0,80 × 0,80 de section sur laquelle, à chaque kilomètre, il y a des ouvertures d'aspiration de 0,30 × 0,45. Nous ferons abstraction de ce qu'une section aussi restreinte de la conduite et la vitesse énorme avec laquelle l'air aspiré doit se mouvoir augmentent notablement les résistances et, par conséquent, l'effet utile des aspirateurs est considérablement diminué même ceux-ci étant en bon état; cet effet utile doit nécessairement être réduit à une fraction insignifiante, attendu que les résistances au mouvement de l'air sont directement proportionnelles à la longueur de la conduite qui est de 6 kilomètres et directement proportionnelles aussi au périmètre de la section qui est grand par rapport à l'air et cette section étant de forme carrée. Ces résistances sont enfin proportionnelles au carré de la vitesse du courant.

Laissant cependant de côté ce défaut fondamental de conception nous nous bornerons à indiquer quel doit être nécessairement l'effet de l'aspiration de l'air à travers une conduite qui a des ouvertures à chaque kilomètre de sa longueur, lesquelles ouvertures ont 0,30 × 0,45 de section, tandis que la section de la conduite est de 0,80 × 0,80.

En premier lieu, il est évident que l'aspiration de l'air à travers une ouverture crée un courant convergent vers cette ouverture; en supposant, par conséquent, que l'aspiration ait lieu par toutes les 7 ouvertures susdites elle créerait 7 centres distincts de courants locaux et de mouvements nuisibles à l'aérage spontané du tunnel. Or si

nous ajoutons le nombre de tous les locaux artificiellement créés, 12 par le fait des jets d'air, 7 par le fait de l'aspiration, nous aurons 19 sièges de courants locaux le long du tunnel, sans compter les courants secondaires créés par l'effet du refroidissement local de l'air autour des 12 jets.

Point n'est besoin d'ailleurs de démontrer que l'aspiration la plus forte aura lieu par la première ouverture, celle qui est la plus proche de l'orifice nord du tunnel ; en ce point il y aura un fort courant convergent vers l'orifice d'aspiration, lequel opposera une résistance notable à la sortie du tunnel ou à son entrée, suivant que le courant sera dirigé dans un sens ou dans l'autre, de même qu'un cours d'eau qui coule perpendiculairement à son affluent s'opposera au libre déversement des eaux de celui-ci.

Quant à la disposition consécutive des 7 orifices elle n'exerce en réalité qu'une influence nuisible peu appréciable, du moins en ce qui concerne les orifices plus éloignés, attendu que, en tenant compte des sections relatives de ces orifices et de la conduite et de la vitesse avec laquelle l'air doit entrer par les premiers orifices, bien peu d'air sera aspiré par les derniers, l'air aspiré par les premiers suffisant pour alimenter la conduite.

Il résulte, par conséquent, de ce que nous avons exposé que les mesures adoptées pour remédier partiellement à l'insuffisance de la ventilation du grand tunnel des Alpes ne suffisent nullement pour créer une ventilation artificielle, tandis qu'elles dérangent considérablement la ventilation naturelle.

Solution du problème de l'aérage artificiel du tunnel. — Ayant décrit les difficultés qui s'opposent à l'aérage naturel du tunnel du mont Cenis et indiqué l'importance des causes qui en vicient l'atmosphère, nous allons exposer comment on pourrait résoudre le problème de la ventilation artificielle du tunnel.

Nous observerons avant tout que l'injection de l'air comprimé et l'aspiration de l'air par des conduites installées dans le tunnel ne peuvent en aucune manière constituer une solution du problème.

Pour le résoudre il faut chercher à rendre les conditions du tunnel identiques à celle d'une mine. La solution serait la suivante :

Fermer une des extrémités du tunnel avec une porte mobile, ouvrir dans le flanc du tunnel à peu de distance de cette porte, une conduite de large section, et appliquer sur cette conduite un ventilateur aspirant d'un modèle quelconque.

Au lieu du ventilateur on pourrait établir dans cette conduite un foyer avec cheminée, en tenant toujours d'ailleurs fermé l'orifice normal du tunnel par une porte mobile.

La préférence à donner au ventilateur sur le foyer nous paraît évidente, et nous ne voudrions pas compliquer ce mémoire en le démontrant, attendu que la solution du problème ne réside pas dans la nature de l'agent qui créerait le mouvement de l'air, mais dans la fermeture d'une des bouches du tunnel et dans le fait qu'on forcerait tout l'air de la galerie à sortir par la conduite dont l'appareil de ventilation occuperait l'extrémité.

La fermeture d'une des entrées du tunnel au moyen d'une porte ou d'un clapet mobile tournant autour d'axes soit verticaux, soit horizontaux, ne présente aucune difficulté. A une distance convenable de cette fermeture mobile, on établirait des signaux d'arrêt, et en même temps que le train s'arrêterait les portes s'ouvriraient; il est, du reste, très facile d'imaginer des dispositions qui permettraient l'ouverture et la fermeture de ces portes, de sorte que leur existence ne présenterait pas plus d'inconvénient que l'établissement d'une station de plus sur la ligne.

Il est évident qu'on devrait aussi fermer toutes les fenêtres qui s'ouvrent à ciel ouvert sur le flanc de la galerie du

côté de Bardonnèche et fermer de même les tronçons de galerie rectilignes qui partent des points de raccordement de l'axe avec les deux courbes allant aux orifices du tunnel, lesquels tronçons rectilignes ont servi au tracé du tunnel lors de son percement.

Démonstration de l'efficacité certaine de la mesure proposée. — Pour démontrer la certitude absolue de l'efficacité de la mesure que nous proposons, nous devons avant tout prouver qu'en fermant une des bouches du tunnel et en en créant sur le flanc une à laquelle on appliquerait un ventilateur, les conditions du tunnel deviendraient identiques à celles d'une mine.

En effet, de quelle façon disposerait-on l'installation d'une mine communiquant avec l'extérieur au moyen de descenderies ou de puits, étant donné le cas où la ventilation spontanée ne serait pas suffisante et où l'on devrait avoir recours à la ventilation artificielle par des moyens mécaniques? Prenons l'exemple d'une mine communiquant avec l'extérieur par deux puits situés à deux niveaux différents ; supposons que pour des raisons de convenance locale on veuille faire entrer l'air par l'orifice plus bas, alors on fermerait l'orifice le plus élevé, on percerait dans le flanc du puits une ouverture et l'on y ferait aboutir une conduite à l'extrémité de laquelle on établirait un ventilateur qui en occuperait toute la section transversale,

Il ressort évidemment de tout ceci qu'au moyen de la disposition que nous avons décrite, le tunnel du mont Cénis serait placé dans des conditious identiques à celles de la mine dont nous venons de parler.

Quant au mode d'action des ventilateurs nous dépasserions les limites de ce mémoire si nous voulions l'analyser; qu'il nous suffise plutôt de choisir un cas particulier quelconque, le puits *Saint-Amand* par exemple, de la mine

Rieu-du-Cœur, sur lequel se trouve appliqué un ventilateur Guibal de 9 mètres de diamètre et 2 mètres de largeur, le diamètre de la conduite qui part du puits étant de 3 mètres. Nous arrêtons notre choix sur ce cas particulier sans autre raison que la précision des expériences faites par MM. Brunin, Leroy, Schivre et Halley (*).

NOMBRE des révolutions par minute.	DÉPRESSION dans la galerie en millimètres d'eau.	VOLUME d'air extrait en mètres cubes.	TRAVAIL utilisé en kilogrammètres.	TRAVAIL moteur sur le piston en kilogrammètres.	COEFFICIENT d'effet utile.
30	24	13,300	319,2	700,5	0,4518
42	33	17,233	568,6	1089,0	0,5220
60	65	21,723	1412,0	2827,0	0,4994
82	122	29,925	3568,0	6508,0	0,5610
95	152	34,652	5264,0	9067,0	0,5805

On voit, par conséquent, qu'avec ce ventilateur $34^{m^3},652$ d'air ont été extraits par seconde avec une force motrice de 121 chevaux appliqués sur le piston.

Nous avons déjà analysé quelles seraient les conditions du tunnel des Alpes si l'on y faisait passer 84 mètres cubes d'air par seconde et nous avons démontré que la proportion du gaz le plus nuisible dans l'air du tunnel serait de 0,87 p. 100 au maximum et cela seulement pour 16 minutes chaque heure, tandis que le reste du temps et dans des portions variables du tunnel il y aurait périodiquement de l'air pur, de l'air avec 0,18 p. 100 de gaz acide carbonique et de l'air avec 0,69 p. 100 de ce gaz. Nous avons noté, en outre, que l'air avec 8 p. 100 de gaz acide carbonique est instantanément mortel, avec 5 p. 100 de ce gaz il est impropre à la combustion et commence à être asphyxiant, et que si la proportion ne dépasse pas 1 p. 100 l'air peut être respiré sans préjudice pour la santé.

(*) Devillez : *Ventilation des mines.*

En nous arrêtant sur l'exemple que nous avons choisi, supposant qu'on veuille employer le même ventilateur qui fonctionne au puits Saint-Amand pour ventiler le tunnel des Alpes, et en admettant pour le moment que les conditions du tunnel et de la mine Rieu-du-Cœur soient les mêmes (nous indiquerons plus bas les effets de la différence), voyons s'il est possible de créer dans le tunnel le courant de 84 mètres cubes par seconde, étant donné toujours que la mesure susdite de l'application d'une fermeture mobile ait été adoptée.

Les carrés des volumes d'air extraits par un ventilateur centrifuge à diverses vitesses sont proportionnels à la dépression, c'est-à-dire qu'on a la proportion

$$\frac{h}{h'} = \frac{v^2}{v'^2},$$

v étant le volume d'air extrait ; h la dépression correspondante ; v' le volume avec une autre vitesse de rotation, et h' la dépression correspondante à ce dernier volume.

Les ventilateurs à force centrifuge doivent produire dans le même temps la dépression et la hauteur génératrice de la vitesse avec laquelle l'air s'échappe de l'appareil dans une direction quelconque ; et si nous désignons par h_1 cette hauteur pour fournir le volume V ; et h'_1 la hauteur génératrice pour le volume V', nous aurons, d'après la théorie des ventilateurs de cette espèce, l'expression $h + h_1 = 0{,}00056 \times p \times N^2 (R^2 - r^2)$, dans laquelle

R = rayon du ventilateur,
r = rayon de la circonférence de l'extrémité intérieure des ailes,
p = poids d'un mètre cube d'air à la densité de celui qui contient l'appareil,

et

$$h' + h'_1 = 0{,}00056 \times N'^2 (R^2 - r^2),$$

d'où

$$\frac{h + h_1}{h' + h'_1} = \frac{N'}{N'^2} \qquad (a)$$

N et N' étant le nombre des révolutions correspondant aux volumes V et V'.

De cette proportion, on tire

$$h' = h\frac{V'^2}{V^2}.$$

Nous savons que les hauteurs génératrices de la vitesse d'échappement de l'air sont proportionnelles aux carrés de ces vitesses d'échappement, lesquelles sont elles-mêmes proportionnelles aux volumes d'air fournis par le ventilateur; il en résulte que

$$\frac{h_1}{h'_1} = \frac{V^2}{V'^2},$$

d'où

$$h'_1 = h_1\frac{V'^2}{V^2};$$

ces volumes de h_1 et h'_1 étant substituées dans la proportion (a), celle-ci se présente sous la forme

$$\frac{h+h_1}{(h+h_1)\frac{V'^2}{V^2}} = \frac{N^2}{N'^2},$$

d'où

$$\frac{V^2}{V'^2} = \frac{N^2}{N'^2} \quad \text{et} \quad \frac{V}{V'} = \frac{N}{N'} \text{ (*)}.$$

Ces proportions signifient que si un ventilateur à force centrifuge est placé sur une mine dont l'état intérieur ne change pas, le volume d'air que ce ventilateur aspire de la mine et déverse dans l'atmosphère est constamment proportionnel au nombre des révolutions du ventilateur.

Revenant à l'exemple du ventilateur Guibal de 6 mètres, qui fonctionne à Rieu-du-Cœur, nous avons vu qu'avec 95 révolutions, le volume d'air extrait à été de $34^{m^3},65$ par seconde; par conséquent, le même ventilateur pourrait

(*) Devillez, *Ventilation des mines*.

extraire les 84 mètres cubes par seconde, qui suffiraient pour ventiler le tunnel des Alpes, en faisant 234 révolutions, si l'état intérieur du tunnel était pareil à celui de ladite mine, quant à l'aire de la section des galeries et quant à la quantité de gaz nuisibles développés et à tout autre point de vue.

Nous avons par conséquent démontré dès à présent que, étant donnée cette identité de conditions, le courant nécessaire pour le tunnel du mont Cenis pourrait être produit avec un ventilateur pareil à celui qui fonctionne au puits Saint-Amand, en lui faisant faire 234 révolutions par minute.

Influence sur la facilité de ventilation des différences de conditions de tunnel du mont Cenis et de la mine Rieu-du-Cœur. — Tout le problème se réduit par conséquent à déterminer l'influence que pourra exercer la différence des conditions offertes par le tunnel des Alpes et par la mine Rieu-du-Cœur, en admettant toujours qu'on ait appliqué au tunnel la mesure indispensable que nous avons proposé, de la fermeture d'une des bouches avec porte mobile, sans quoi le tunnel ne pourra jamais être comparable à une mine.

Cette diversité de conditions est *très favorable* au tunnel des Alpes, ou, en d'autres termes, avec la même dépression et le même ventilateur, on pourra produire une ventilation énormément plus grande dans le tunnel du mont Cenis que dans la mine de Rieu-du-Cœur.

En effet, supposons qu'on veuille doubler la quantité d'air en maintenant la même dépression ; et examinons en quelle proportion on devrait augmenter pour cela la section d'une galerie ?

Soit :

L la longueur de la galerie,

V la vitesse de l'air correspondant, par exemple à un débit de 15 mètres cubes d'air dans cette galerie,

S la section de la galerie,
P le périmètre de la section,
n une constante qui représente le rapport entre h et $\frac{LV^2P}{S}$ (*).

La dépression h correspondante sera

$$h = n\,\frac{LV^2P}{S}.$$

Si la section passe de S à S', la vitesse de V à V', et le périmètre de P à P', on aura

$$h' = n\,\frac{LV'^2P'}{S'}.$$

La dépression devant rester constante, d'après ce que nous avons supposé, on aura

$$n\,\frac{LV^2P}{S} = n\,\frac{LV'^2P'}{S'},$$

d'où

$$\frac{PV^2}{S} = \frac{P'V'^2}{S'}.$$

Mais nous avons admis que nous voulions doubler le volume d'air; nous aurons donc

$$V'S' = 2\,VS,$$

d'où

$$V'^2 = \frac{4\,V^2S^2}{S'^2},$$

et pour des figures semblables, on aura

$$P^2 : P'^2 = S : S',$$

d'où

$$S' = S\,\frac{P'^2}{P^2} \text{ et } S'^3 = S^3\,\frac{P'^6}{P^6};$$

(*) On prend $n = 0{,}0018$ pour les min es.

substituant à V'^2 et à S'^3 ces nouvelles valeurs dans l'équation

$$\frac{PV^2}{S} = \frac{P'V'^2}{S'}.$$

on aura

$$\frac{PV^2}{S} = \frac{P'}{S'} \times 4 \frac{V^2S^3}{S'^2},$$

d'où

$$PS'^3 = 4\,P'S^3 \text{ et } PS^3 \frac{P'^6}{P^6} 4\,P'S^3,$$

d'où

$$P'^5 = 4\,P^5 \text{ et } P' = P\sqrt[5]{4} = 1{,}32\,P\ (*).$$

Ainsi pour doubler la ventilation sans augmenter la dépression, il suffira d'agrandir les dimensions linéaires de la galerie dans la proportion de 1 à 1,32, ou la section dans le rapport de 1 à $1{,}32^2$. L'aire actuelle de la section des galeries de Rieu-du-Cœur devrait donc, de sa valeur actuelle 4 mètres carrés, être portée à $= 6^{mq},97$, tandis que l'aire de la section du tunnel du mont Cenis est de 42 mètres carrés.

Détermination théorique de la force nécessaire pour produire dans le tunnel des Alpes la ventilation que nous avons trouvé convenable. — De tout ce qui précède, il résulte que la section considérablement plus grande du tunnel des Alpes faciliterait énormément la ventilation avec une faible dépression ; et puisque le carré du nombre des révolutions d'un ventilateur (système Guibal) est proportionnel à la dépression, on pourra aspirer ce grand volume d'air avec un nombre de révolutions très inférieur au chiffre de 234 trouvé plus haut.

Nous établirons théoriquement la force en chevaux-vapeur nécessaire pour produire dans le tunnel des Alpes,

---

(*) A. Devillez, *Ventilation des mines.*

placé dans les conditions que nous avons décrites, un courant de 84 mètres cubes par seconde, dont la suffisance a déjà été démontrée. Nous suivrons pour cela Callon (*Cours de machines professé à l'École des mines*).

Supposons que dans une enveloppe quelconque il y ait un gaz occupant le volume V et soumis à la pression P; supposons que cette enveloppe se contracte d'une quantité infiniment petite, de façon que le volume V diminue de la quantité dV. Cette réduction de volume dV résultera de ce que les divers éléments de la surface de l'enveloppe se seront déplacés d'une quantité infiniment petite. Appelons $d\omega$ un de ces éléments, ds son déplacement dans le sens normal, le volume engendré par ce déplacement sera $d\omega\, ds$, et on aura

$$\int d\omega ds = dV.$$

D'autre part, la pression P s'exerçant sur la surface de l'enveloppe donne, sur l'élément de la surface, la pression élémentaire $Pd\omega$, ds pour un déplacement ds.

Le travail élémentaire sera donc

$$\int Pd\omega ds = P \times \int d\omega ds = PdV.$$

Le travail fini, correspondant à une contraction finie de l'enveloppe, aura pour expression l'intégrale indéfinie $\int PdV$, qu'on devra intégrer entre des limites données.

Si la pression du gaz était constante, l'intégrale $\int PdV$ se trouverait immédiatement en posant :

$$\int PdV = P\int dV = PV.$$

Mais il n'est pas ainsi ; généralement un changement de volume change du même temps la pression et la tempéra-

ture. Supposons maintenant la compression suffisamment faible et suffisamment graduelle pour que la chaleur développée puisse être négligée; en ce cas, on devra intégrer $\int PdV$, les quatités P et V étant fonctions l'un de l'autre. Dans l'hypothèse susdite de température constante, la fonction est PV = constante.

Différenciant, on a $PdV \times VdP = 0$; $PdV = -VdP$, on pourra donc écrire indifféremment :

$$\int PdV = -\int VdP = PV\int\frac{dV}{V} = -PV\int\frac{dP}{P}$$
$$= PV\ l.\ V + C = -PV\ l.\ P + C'$$

En désignant par V_1, V_2, et par P_1, P_2 les valeurs initiales et finales des volumes et de la pression, on a, d'après la loi de Mariotte,

$$PV = P_1V_1 = P_2V_2,$$

et ainsi l'intégrale définie deviendra (en notant que s'il y a compression, dV est négatif et $-dP$ est positif) :

$$T_m = P_1V_1\ l.\frac{V_1}{V_2} = P_1V_1\ l.\frac{P_2}{P_1} = P_2V_2\ l.\frac{V_1}{V_2} = P_2V_2\ l.\frac{P^2}{P_1}.$$

Tel est le travail moteur qui devra être exercé sur un gaz, pour le comprimer d'un volume V_1 à un volume moindre V_2 et d'une pression P_1 à une pression plus grande P_2.

Et par suite de l'égalité entre l'action et la réaction, tel est le travail moteur que produira la dilatation du gaz entre les limites susdites de volume et de pression (*).

La formule théorique

$$T_m = P_1V_1\ l.\frac{P_2}{P_1},$$

qu'on peut écrire

$$T_m = V_1\ (P_2 - P^1),$$

(*) Callon, *Cours de machines*.

puisque $\frac{P_2}{P_1}$ est supérieur à l'unité, peut aussi être écrite

$$T_m = V_1 \rho_1 \frac{P_2 - P_1}{\rho_1},$$

ρ_1 étant par exemple la densité de l'eau, alors $V_1 \rho_1$ devient le poids en kilogrammes ou le volume en litres de la quantité d'air exprimé en mètres cubes, et le terme $\frac{P_2 - P_1}{\rho_1}$ devient la hauteur de l'eau qui mesure la différence des pressions $P_2 - P_1$, soit h.

Attendu que $\rho_1 = 1.000$, le travail cherché est

$$T_m = 1.000\, Vh \text{ (**)}.$$

En admettant qu'avec la même dépression observée à Rieu-du-Cœur, on veuille extraire 84 mètres cubes d'air par seconde du tunnel du mont Cenis, nous avons

$T_m = 1.000 \times 84 \times 1{,}15 = 12.000$ kilogrammètres; ou autrement la force théorique nécessaire serait de 168 chevaux.

Détermination du coefficient de rendement de la force théorique. — Nous pouvons déterminer théoriquement quel serait le coefficient d'effet utile de la force appliquée au ventilateur dans les conditions susdites, et pour cela nous nous servirons de la formule

$$T' = T + \frac{M}{2}(V'^2 + V^2)$$

qui s'applique lorsque la direction du courant sortant du ventilateur fait un angle droit avec la tangente à sa circonférence. Dans cette expression T serait le travail qu'on devrait transmettre à l'air pour lui faire traverser les régions à tensions décroissantes du centre jusqu'à la circonférence

(**) Callon, *Cours d'exploitation des mines.*

du ventilateur (soit T_m ci-dessus); T' serait le travail que la force motrice doit transmettre, abstraction faite des résistances passives; M la masse de l'air; *v* la vitesse d'échappement; *v'* la vitesse tangentielle.

Pour faire ce calcul nous devrions faire certaines hypothèses, qui par leur nature même en diminueraient la valeur; ainsi, par exemple, nous devrions admettre que les dimensions et les conditions d'action du ventilateur seraient comme à Rieu-du-Cœur, sauf la quantité d'air à émettre, et la vitesse correspondante.

Dans ce cas nous aurions T = 12.600 kilog. × *m* comme ci-dessus; et, prenant $1^{kg},20$ pour poids de l'air, nous aurions

$$M = \frac{P}{g} = \frac{84^{m^3} \times 1,20}{9,8088} = 10,2,$$

et le diamètre du ventilateur étant 9 mètres et le nombre de tours par minute 95,

$$V' = \frac{2\pi \times 4,50 \times 95}{60} = 29.74$$

$$T' = 12.600 \times 5,1\ (\overline{29,74}^2 + \overline{2}^2) = 1.731$$

d'où

$$\frac{T}{T'} = \frac{12.600}{17.131} = 0,73,$$

c'est-à-dire que le coefficient d'effet utile serait de 73 p. 100.

On peut affirmer sans crainte d'erreur qu'en pratique le coefficient de l'effet utile serait encore plus élevé, vu la quantité considérable d'air extraite; déjà au Grand-Buisson (Belgique) le ventilateur Guibal, qui donne 40 mètres cubes d'air, utilise 72 p. 100 de la force absolue à Crachet-Picquery, celui qui donne 50 mètres cubes utilise 75 p. 100; au mont Cenis, la quantité d'air fournie, devant être de 84 mètres cubes, le coefficient de rendement serait très probablement supérieur encore à celui de 75 p. 100, d'au-

tant plus que les résistances passives qui diminuent le coefficient d'effet utile seraient notablement plus petites dans le tunnel du mont Cenis qui dans une mine quelconque.

Force effective nécessaire. — En admettant néanmoins 75 p. 100 comme coefficient de la pratique, la force effectivement nécessaire pour faire passer 84 mètres cubes d'air par seconde dans le tunnel du mont Cenis, placé dans les conditions que nous avons indiquées, serait de 224 chevaux-vapeur effectifs.

Force gratuite disponible à Bardonnèche. — La force disponible à Bardonnèche est dérivée d'un canal d'eau déjà existant, d'un débit de 800 litres par seconde avec une chute de 42 mètres; ce qui correspond à 448 chevaux de force.

Il en résulte qu'à Bardonnèche on disposerait, pour mettre en mouvement le ventilateur, de deux fois plus de force qu'il n'en faudrait pour ventiler convenablement le tunnel, et, en outre, cette force s'obtiendrait *gratuitement*, par conséquent la ventilation n'entraînerait qu'une faible dépense annuelle.

Preuve que l'ouverture périodique des portes mobiles ne dérangerait pas la ventilation. — Il ne nous reste plus qu'à démontrer que l'ouverture périodique des portes mobiles qui fermeraient une des entrées du tunnel ne dérangerait pas sensiblement la ventilation. Pour cela nous aurons recours à un exemple pratique, puisque le calcul ne saurait fournir en ce cas que des résultats incertains.

Nous citerons l'exemple de la mine Homer-Hill (Angleterre), dans laquelle un ventilateur Guibal est établi sur un conduit partant du puits d'extraction, dans lequel montent et descendent des cages portant respectivement au

jour et dans les travaux souterrains les wagons pleins et vides; pour que le ventilateur puisse agir, le puits d'extraction est fermé avec un clapet mobile, qui s'ouvre à chaque passage de la cage absolument comme s'ouvrirait, au passage de chaque train, la porte mobile qui fermerait la bouche du tunnel. On observe dans cette mine que si l'on arrête le ventilateur, quand il extrait 465 mètres cubes d'air par minute, et qu'on ouvre le clapet qui clôt le puits, 16 minutes après l'ouverture du puits, le courant continue encore avec un débit de 115 mètres cubes par minute.

Il s'en suit que l'ouverture de la porte mobile n'aurait d'autre effet que de ralentir et jamais de faire cesser la ventilation du tunnel du mont Cenis, et cet effet ne s'exercerait que pendant la courte période de temps durant laquelle la porte resterait ouverte.

Du reste la similitude absolue de conditions dans laquelle se trouverait le tunnel des Alpes et la mine Homer-Hill, qui vient d'être citée, saute aux yeux.

Conclusion. — Nous croyons avoir démontré, par le calcul et par la citation d'exemples pratiques, que la mesure que nous proposons constituerait une solution certaine et infaillible pour la ventilation parfaite du tunnel du mont Cenis, comme de tous les grands souterrains de chemins de fer.

Cesena, novembre 1880.

DE LA COMPOSITION ET DE LA TEMPÉRATURE

DES

GAZ DES HAUTS-FOURNEAUX

Par M. A. JAUMAIN, ingénieur des hauts fourneaux de la Société de la Providence, à Marchiennes (*).

Quand on considère la marche d'un haut-fourneau, on admet généralement que le courant gazeux, pris aux divers points d'une même tranche horizontale, a à peu près partout la même composition.

Ce fait cependant est loin d'être exact.

M. Gruner, dans sa remarquable étude sur les hauts fourneaux, insiste beaucoup sur les précautions qu'il faut prendre pour obtenir une moyenne exacte du courant gazeux.

Le même auteur, dans son traité de métallurgie, fait remarquer, à propos d'un mémoire de M. Vicaire, que la température des matières solides, ainsi que celle des gaz, varie beaucoup du centre à la circonférence.

Ebelmen, en partant de ses propres analyses de gaz sur un haut-fourneau de Seraing, en arrivait à cette conclusion : que ses analyses des gaz du gueulard ne représentaient pas la moyenne du courant gazeux.

Les résultats d'expérience, que nous allons rapporter, éclaircissent cette question.

Nous avons constaté, dans les hauts-fourneaux munis

(*) Voir plus bas, p. 334, les observations de M. Gruner sur ce Mémoire.

d'une trémie avec prises de gaz latérales et pourvue en outre d'une prise centrale, formée d'un tuyau plongeant à la même profondeur, *une différence très grande dans la composition des courants gazeux, et en même temps une différence de température souvent considérable.*

Ce fait est régulier et assez constant, comme nous le verrons par de nombreux exemples.

La température des gaz du tuyau central peut descendre à 70° et 80°, quand les gaz des prises latérales atteignent au même instant 230° et même au delà de 450°.

Nous avons été amené à faire l'analyse des gaz fournis par les prises latérales et de ceux de la prise centrale, par ce fait qu'un appareil à air chaud des fourneaux de Marchiennes, alimenté exclusivement par les gaz d'une prise centrale, chauffait le vent à une température de beaucoup inférieure à l'appareil alimenté par les gaz des prises latérales. Souvent même les gaz étaient extrêmement difficiles à brûler. On attribuait cette différence au peu de gaz fourni par la prise centrale, tandis que c'est la grande quantité d'acide carbonique que ces gaz contiennent qui les rend peu combustibles.

Nous dirons quelques mots des procédés d'analyse de gaz.

Nous nous sommes servis pendant bien des années des divers appareils Orsat; mais, depuis l'an dernier, nous avons donné la préférence à la burette du docteur Bünte (*), qui est infiniment plus simple, et qui permet d'absorber beaucoup mieux et plus rapidement l'oxyde de carbone.

Nous ajouterons même que les dernières fractions d'oxyde de carbone ne peuvent s'absorber, qu'en remplaçant trois ou quatre fois une partie de la liqueur absorbante.

La liqueur absorbante de l'oxyde de carbone se prépare

(*) La burette Bünte est fabriquée en Allemagne par Joh., Greiner de Munich. Voir sur cet appareil la note descriptive, *infrà*, p. 350.

en faisant une solution saturée, dans l'acide chlorhydrique, de chlorure cuivreux. On y joint une petite quantité de chlorure stanneux dissout. Au mélange décanté, on ajoute quelques spirales de cuivre rouge, et conserve la solution à l'abri de l'air.

Cette solution doit être claire ou légèrement brune.

Avec les appareils Orsat, il nous paraît difficile d'absorber entièrement l'oxyde de carbone.

Le fait de la différence très grande de composition et de température des deux courants gazeux, montre qu'on ne peut se rendre exactement compte de la marche d'un haut fourneau, par le rapport de l'acide carbonique à l'oxyde de carbone, sans avoir en même temps l'analyse des deux courants gazeux et leur température. De plus, il serait nécessaire aussi de connaître leur quantité relative, ce qui est bien difficile. Dans ces conditions, il est presque impossible d'établir exactement le bilan calorifique d'un haut fourneau.

Nous allons passer en revue plusieurs exemples de hauts-fourneaux, sur lesquels nous avons fait des expériences.

On trouvera plus loin un tableau résumant les conditions de marche de ces divers fourneaux, ainsi que leurs profils (voir la note de M. Gruner, p. 338).

Dans nos analyses de gaz, le dosage de l'hydrogène et de la vapeur d'eau ayant été négligé, les quantités d'azote, trouvées par différence, sont un peu trop élevées.

HAUT-FOURNEAU N° 2 DE MARCHIENNES.

Ce fourneau est muni de trois prises latérales de $0^m,80$ de diamètre, et d'une prise centrale de 1 mètre de diamètre.

Le tuyau central fournit le gaz pour deux appareils à air chaud à 36 siphons, soit pour 16 brûleurs. Le tuyau central donne à peu près autant de gaz que les trois prises latérales réunies.

Température des gaz du tuyau central	120°	Différence	128°
— — des prises latérales.	248°		

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu dans 100 de gaz.	
Tuyau central . .	CO^2.	13,34 p. 100	19,47 p. 100	5,31	$\frac{CO^2}{CO} = 0,38$
	CO	21,60 —	19,70 —	8,44	
	Az	65,05 —	60,83 —	13,75	
		100,00	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau latéral. . .	CO^2.	9,40 p. 100	14,03 p. 100	3,82	$\frac{CO^2}{CO} = 0,39$
	CO	25,20 —	23,50 —	10,07	
	Az	65,40 —	62,47 —	13,89	
		100,00	100,00		

La quantité de carbone contenu dans les deux gaz est à peu près la même.

HAUT-FOURNEAU N° 1 DE MARCHIENNES.

Ce fourneau est muni de deux prises latérales de 1m,25 de diamètre et d'une prise centrale de 1 mètre. La prise centrale fournit à peine du gaz pour un appareil à chaud. Les gaz de la prise centrale sont toujours plus froids que ceux du n° 2. Leur température descend parfois à 70°. Il se condense alors des eaux répandant une odeur extrêmement forte et infecte. L'allure de ce fourneau est la même que celle du n° 2.

Température des gaz du tuyau central	90°	Différence	150°
— — des prises latérales.	250°		

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2	12,20 p. 100	17,91 p. 100	4,88	$\frac{CO^2}{CO} = 0,935$
	CO	20,80 —	19,15 —	8,20	
	Az	67,00 —	62,94 —	13,08	
		100,000	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau latéral.	CO^2	9,76 p. 100	14,53 p. 100	4,23	$\frac{CO^2}{CO} = 0,60$
	CO	25,80 —	24,10 —	10,32	
	Az	64,44 —	61,37 —	14,55	
		100,00	100,00		

Toutes conditions égales, la marche de ce fourneau est actuellement un peu moins économique que celle du n° 2; ce qui est dû à ce que la réduction au n° 1 se fait moins par la partie centrale; la consommation de carbone solide le long des parois est plus grande.

La prise centrale du n° 1 ne fournit pas moitié autant de gaz que celle du n° 2.

Les analyses qui précèdent sont des moyennes d'une série d'analyses faites tous les jours pendant au moins six semaines.

HAUT-FOURNEAU DE CHATELINEAU (COUILLET).

Marche en fonte d'affinage :

La température des gaz de la prise centrale fut de. .	133°	Différence. . . .	167°
Celle des gaz des prises latérales de.	300°		

En moulage pendant six semaines :

La température des gaz du tuyau central a été de. .	212°
— — des prises latérales de	400°

c'est-à-dire au delà du point d'ébullition du mercure.

Nous n'avons pas les analyses des gaz.

HAUT-FOURNEAU N° 1 DE RÉHON (PROVIDENCE).

Ce fourneau est muni de deux prises latérales de 1m,10 de diamètre. Il est alimenté exclusivement par des minettes.

Température du tuyau central	90°	Différence	165°
— des prises latérales	255°		

Les analyses des gaz donnent à peu près les mêmes différences que ceux des fourneaux de Marchiennes.

HAUT-FOURNEAU N° 2 DE RÉHON.

Ce fourneau est muni d'une trémie à quatre compartiments. Les gaz sont donc pris le long des parois au centre et vers la surface de la cuve. On obtient ainsi une moyenne assez exacte du courant gazeux.

En allure de moulage, la température moyenne des gaz est de 140° à 150°.

Le rapport $\frac{CO^2}{CO} = 0,726$. Déduction faite de l'acide carbonique fourni, par le lit de fusion, nous avons pour le rapport provenant des produits de la combustion $\frac{CO^2}{CO} = 0,491$.

HAUT-FOURNEAU N° 2 D'HAUMONT (PROVIDENCE).

Ce fourneau est muni de deux prises latérales de 1m,350 de diamètre, et d'une prise centrale de 1m,50.

La température moyenne du tuyau central est de	150°	Différence	139°
— — des prises latérales	289°		

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2.....	8,95 p. 100	14,20 p. 100	3,87	$\frac{CO^2}{CO} = 0,635$
	CO.....	24,05 —	22,36 —	9,58	
	Az......	66,90 —	63,44 —	13,45	
		100,00	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau latéral.	CO^2.....	7,70 p. 100	11,57½p. 100	3,16	$\frac{CO^2}{CO} = 0,414$
	CO.....	29,50 —	27,89 —	11,95	
	Az.....	62,80 —	60,56 —	15,11	
		100,00	100,00		

La prise centrale donne beaucoup de gaz.

HAUT-FOURNEAU N° 1 D'HAUMONT (PROVIDENCE).

Ce fourneau est muni de deux prises latérales de 1m,10 de diamètre, et d'un tuyau central de 1m,15 de diamètre. Ce tuyau s'arrête au niveau du gueulard. Il ne prend pas les gaz et ne sert jusqu'à présent que de distributeur de la charge.

La température moyenne des gaz des prises latérales est de 200°.

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Prises latérales.	CO^2.....	9,85 p. 100	14,49 p. 100	3,95	$\frac{CO^2}{CO} = 0,60$
	CO.....	25,80 —	23,90 —	10,10	
	Az......	64,35 —	61,60 —	14,05	
		100,00	100,00		

La marche de ces deux fourneaux est très économique.

HAUTS-FOURNEAUX DE THY-LE-CHATEAU A WEZ-SAINT-MARTIN.

Observation. — Ces hauts-fourneaux reçoivent par charge

une certaine quantité de tan, ce qui modifie un peu la température et la composition des gaz.

HAUT-FOURNEAU N° 1.

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2	12,20 p. 100	17,92 p. 100	4,88	$\frac{CO^2}{CO} = 0,85$
	CO	22,80 —	21,02 —	9,01	
	Az	65,00 —	61,06 —	13,89	
		100,00	100,00		

Prises latérales .... $\frac{CO^2}{CO} = 0,48$

Température des gaz du tuyau central .... 130° } Différence ..... 73°
— — des prises latérales .... 203° }

HAUT-FOURNEAU N° 2 (même usine).

Température des gaz du tuyau central .... 90° } Différence ..... 48°
— — des prises latérales .... 138° }

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2	10,80 p. 100	16,64 p. 100	4,53	$\frac{CO^2}{CO} = 0,81$
	CO	21,20 —	20,50 —	8,78	
	Az	68,00 —	62,86 —	13,81	
		100,00	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau latéral.	CO^2	10,00 p. 100	14,98 p. 100	4,08	$\frac{CO^2}{CO} = 0,57$
	CO	27,60 —	25,70 —	11,01	
	Az	62,40 —	59,32 —	15,09	
		100,00	100,00		

HAUT-FOURNEAU DE LA SOCIÉTÉ DE MONCEAU.

Fourneau n° 1 (avec trois appareils Cowper en activité).

Température du tuyau central .... 110° } Différence .... 158°
— des prises latérales .... 268° }

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2	9,80 p. 100	14,30 p. 100	3.90	$\frac{CO^2}{CO} = 0,66$
	CO	23,80 —	21,79 —	9,37	
	Az	66,40 —	63,91 —	13,27	
		100,00	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau latéral.	CO^2	14,00 p. 100	20,32 p. 100	5,54	$\frac{CO^2}{CO} = 1,04$
	CO	21,40 —	19,52 —	8,36	
	Az	64,60 —	60,16 —	13,90	
		100,00	100,00		

La consommation de coke de ce fourneau est très faible.

Les analyses suivantes ont été faites avec deux appareils Cowper seulement en activité. Les rapports $\frac{CO^2}{CO}$ accusent une marche moins économique, ce qui est rationnel.

Température des prises latérales	290°	Différence	106°
— du tuyau central	184°		

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2	8,20 p. 100	12,27 p. 100	3,34	$\frac{CO^2}{CO} = 0,51$
	CO	25,40 —	23,90 —	10,24	
	Az	66,40 —	63,63 —	13,58	
		100,00	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau latéral.	CO^2	11,00 p. 100	16,37 p. 100	4,46	$\frac{CO^2}{CO} = 0,82$
	CO	21,40 —	20,00 —	8,57	
	Az	66,60 —	63,63 —	13,03	
		100,00	100,00		

HAUT-FOURNEAU N° 2 DE MONCEAU.

Température du tuyau central . . . . 152° } Différence. 230° à 250°
— des prises latérales. . . . . 380° à 400° }

Analyse des gaz.

		En volume.	En poids.	Carbone contenu.	
Tuyau central.	CO^2.	9,40 p. 100	14,02 p. 100	3,82	$\frac{CO^2}{CO} = 0,57$
	CO	26,00 —	24,30 —	10,41	
	Az	64,60 —	61,68 —	14,23	
		100,00	100,00		

		En volume.	En poids.	Carbone. contenu.	
Tuyau latéral.	CO^2.	8,40 p. 100	12,60 p. 100	3,43	$\frac{CO^2}{CO} = 0,47$
	CO	28,20 —	26,50 —	11,73	
	Az	63,40 —	60,90 —	15,16	
		100,00	100,00		

Nous pourrions donner encore d'autres exemples, mais il est suffisamment démontré par ceux qui précèdent :

1° Que les gaz recueillis par la prise centrale ont une composition et une température très différentes des gaz donnés par les prises latérales.

2° A part le fourneau n° 1 de Monceau, le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz de la partie centrale est toujours plus élevé que le rapport donné par les gaz des prises latérales.

3° Le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz de la partie centrale se rapproche généralement beaucoup plus du rapport théorique. Dans plusieurs cas nous avons constaté au fourneau n° 1 de Marchiennes le rapport $\frac{CO^2}{CO} = 1,30$, mais alors le volume des gaz n'était pas très grand.

4° Le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ de la partie centrale est plus élevé, ce qui annonce une réduction plus économique.

5° De ce que le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz de la partie centrale est très élevé, on ne peut pas toujours en conclure que la marche du fourneau est économique, car les gaz de la partie centrale peuvent être relativement peu abondants, et en même temps le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ des prises latérales peut être très-faible.

6° On peut conclure que la *composition* des gaz et *leur température* varient depuis l'axe du fourneau jusqu'aux parois.

7° Comme on ne peut connaître exactement les quantités relatives de gaz, fournies par les prises latérales, par la prise centrale et par la partie intermédiaire qui s'échappe ; il est presque impossible d'établir exactement, d'après les analyses des gaz, la balance calorifique d'un haut fourneau muni de ce système de prises de gaz.

8° Lorsque le fourneau est muni d'une simple trémie avec des prises uniquement latérales, on ne peut non plus avoir une moyenne du courant gazeux, car le courant central, qui s'échappe alors à l'air libre diffère, également du courant latéral.

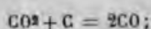
9° Les hauts-fourneaux munis de trémie à compartiment, c'est-à-dire prenant les gaz au centre, à la surface et le long des parois, donnent une moyenne assez exacte du courant gazeux, mais ces trémies ont des inconvénients.

Cherchons maintenant à expliquer la cause qui produit ces différences de température et de composition du courant gazeux. A première vue, nous attribuions ces faits au dédoublement de l'oxyde de carbone, mais on reconnaît tout de suite que ce n'est pas le cas ici, d'après les conditions posées par MM. Gruner et Debray, pour que ce phénomène se produise.

Pour obtenir des différences de température, qui attei-

gnent quelquefois 250° entre les deux courants gazeux, il faut qu'une réaction chimique intervienne, pour produire soit, d'un côté, une élévation de température, soit, de l'autre, un abaissement. La réaction suivante explique la différence de composition des gaz, mais elle n'explique pas parfaitement la différence de température.

Par le chargement, le coke tend à s'accumuler le long des parois, et les gaz tendent surtout à suivre ces parois. L'acide carbonique du courant gazeux rencontrant du carbone solide à une température suffisante, se transforme en partie en oxyde de carbone :



$$CO^2 + C = 2CO;$$

mais cette réaction se produit avec absorption de chaleur.

La partie centrale étant plus tassée, la vitesse des gaz y est moins grande; par suite ils y sont plus refroidis, et peuvent s'échapper sans se transformer.

En somme, la réaction qui se produit le long des parois conduit à une consommation de combustible plus grande.

Quant au fourneau n° 1 de Monceau, qui donne pour la composition des gaz un résultat inverse de celui que nous avons constaté sur les autres fourneaux, il faut admettre que la consommation de carbone solide est plus faible le long des parois.

La marche de ce fourneau est du reste très économique et sa consommation de coke est souvent inférieure à 1.000 kilog. en allure de fonte à minettes.

Il y a tout lieu de supposer que les hauts-fourneaux de très grande capacité (au delà de 350 mètres cubes), ayant une surface de parois relativement grande pour leur production, donnent lieu, dans une plus forte proportion, à la réduction par le charbon solide, et en somme cette circonstance, ajoutée à celles qui ont été indiquées par M. Gru-

ner, tend à rendre ces grands appareils moins économiques que ceux de capacité plus faible.

Toutefois, pour des lits de fusion d'un rendement très faible, la capacité intérieure doit être relativement plus grande que pour un lit de fusion riche.

Lorsque les parois de la cuve d'un haut-fourneau s'usent, il tend à s'y former des excavations, qui se remplissent surtout de coke, dont une partie est alors brûlée par l'acide carbonique. La consommation de coke peut ainsi augmenter dans de grandes proportions.

A ce sujet, nous rappellerons que, pendant les deux premières années de sa marche, le fourneau n° 1 de Marchiennes ne consommait en moyenne que 961 kilog. de coke par tonne de fonte blanche, soit environ 846 kilog. de carbone; tandis que la troisième année, avec la chemise déjà fortement endommagée, les autres conditions restant les mêmes, la consommation de coke s'est élevée à 1.080 kilog., soit environ 950 kilog. de carbone.

La chemise a dû subir une forte réparation en marche, et la consommation s'est finalement arrêtée à environ 1.130 kilog. de coke. La cuve n'avait plus alors de forme régulière. Ainsi, par le fait de changement de forme et de dimensions de la cuve, la consommation est montée de 961 à 1.130 kilog.

Providence (Marchiennes), août 1881.

NOTE
SUR LES HAUTS-FOURNEAUX BELGES
A L'OCCASION DU MÉMOIRE DE M. JAUMAIN
SUR LA TEMPÉRATURE ET LA COMPOSITION DES GAZ
SORTANT DU GUEULARD

Par M. L. GRUNER.

On sait depuis longtemps que les gaz des hauts-fourneaux circulent de préférence le long des parois, où les charges sont plus désagrégées qu'au voisinage de l'axe. On savait aussi que, par suite de cette tendance des gaz à fuir le centre, la température du courant central était moins élevée que celle des gaz du pourtour; que souvent, par l'exagération de cette fâcheuse disposition, *le feu montait au gueulard*, et qu'à cette différence de température et de marche devait correspondre une différence de composition, mais on ignorait l'importance précise de ces écarts. C'est la lacune que l'intéressant travail de M. Jaumain vient de combler.

Il résulte de ces recherches qu'entre les gaz du pourtour et ceux du centre la différence est grande à tous les points de vue, que ni l'un ni l'autre des deux courants, pris isolément, ne permet de se faire une juste idée de la marche des hauts-fourneaux; que les mesures de température et les analyses n'ont de réelle valeur, pour l'appréciation de la marche d'un fourneau, que là où les gaz sont recueillis *au-dessus* des charges et après le mélange complet de tous les filets gazeux, ainsi qu'il arrive, par exemple, dans

les fourneaux à gueulard fermé, pourvu de trémies à cloche mobile (le *cup and cone* anglais).

Le travail de M. Jaumain est surtout utile, parce qu'il fait ressortir l'influence de certains éléments des hauts-fourneaux sur la nature des deux courants. Mais il fallait, pour en apprécier toute la portée, le compléter par des données plus précises sur les dimensions et la marche de ces appareils. C'est ce que M. Jaumain s'est empressé de faire à ma demande. Ces données sont résumées dans les Pl. VIII et IX, donnant le profil de chacun des hauts-fourneaux et celui des tubes et trémies pour la prise des gaz. On voit que tous les hauts-fourneaux sont pourvus, au gueulard, de trémies cylindriques fixes, et qu'au centre se trouve un second tube plus petit, servant tantôt uniquement pour la distribution rationnelle de la charge et tantôt, en outre, pour la prise centrale des gaz. Les éléments de la marche de ces fourneaux sont résumés dans le tableau ci-contre :

HAUTS-FOURNEAUX.	Numéro du profil des Pl. VIII et IX.	Capacité intérieure.	Production par vingt-quatre heures.	Capacité par tonne de fonte.	Nature de la fonte.	Poids du coke consommé.	Teneur en cendres du coke.	RENDEMENT du lit de fusion y compris la castine.	RENDEMENT du minerai.	Nature des minerais.	Température du vent.	Pression moyenne du vent.	TEMPÉRATURE des gaz aux prises latérales.	TEMPÉRATURE des gaz aux prises centrales.	Différences.	RAPPORT $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz des prises latérales.	RAPPORT $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz des prises centrales.	Années de marche.
	fig.	m³	kilog.	m³		kilog.	p. 100	p. 100	p. 100		deg.	cent.	deg.	deg.	deg.			
N° 2 de Marchiennes (Providence)	1	158	75.000	2,100	affinage	1.100	15	33,50	38	minettes et scories	400	15	248	120	128	0,59	0,98	12 ans
N° 1 de Marchiennes (Providence)	2	144	70.000	2,050	»	1.130	15	33,50	38	»	400	14	250	90	160	0,60	0,93	5 —
Châtelineau Société de Couillet	10	133	35.000	4,000	affinage	»	»	»	»	»	350	12	300	133	167	»	»	3 —
		»	28.000	»	moulage	»	»	»	»	minettes	350	12	400	212	188	»	»	»
N° 1 de Rehon (Longwy) Providence	4	154	55.000	2,80	affinage	1.180	14,5	29,50	29 1/2	minettes	320	12	255	90	165	»	»	3 —
N° 2 de Rehon (Longwy) Providence (*)	3	340	60.000	5,66	moulage	1.250	14,5	29,50	29 1/2	minettes	600	10	120	gaz réunis	»	0,72	»	6 mois
N° 2 d'Hautmont (Providence)	6	222	80.000	2,77	affinage	1.100	16	34,00	39	minettes et scories	450	14	289	150	139	0,44	0,635	2 ans
N° 1 id. id.	5	198	70.000	2,74	id.	1.070	16	34,00	39	»	400	16	200	»	»	0,60	»	»
N° 1 de Wez-Saint-Martin (Thy-le-Château)	7	210	75.000	2,80	id.	1.150	15	35,00	40	minettes et scories	400	12	203	130	73	0,48	0,85	3 —
N° 2 de Wez-Saint-Martin (Thy-le-Château)	8	220	80.000	2,75	id.	1.100	15	35,00	40	»	400	14	138	90	48	0,57	0,81	9 —
N° 1 de Monceau-sur-Sambre	9	210	75.000	2,80	id.	1.000	15	33,00	33	minettes	500	13	268	110	158	1,04 0,82	0,66 0,51	2 —
N° 2 id. id.	»	»	75.000	»	id.	1.150	15	32,00	37	minettes et scories	400	15	380	152	228	0,47	0,57	9 —
Hauts-fourneaux Luxembourgeois, n° 1	11	440	115.000	3,80	id.	1.180	15	30,00	»	minettes	550	15-16	280	90	190	»	»	1872 à 1876

OBSERVATIONS. — Il est à peine nécessaire de faire remarquer que, vu la longue campagne de plusieurs de ces fourneaux, les profils et les capacités se sont modifiés notablement.

Pour le fourneau n° 1 de Monceau les rapports $\frac{CO^2}{CO} = 1{,}04$ et $\frac{CO^2}{CO} = 0{,}66$ correspondent à la marche avec 3 appareils Cowper en activité et les rapports $\frac{CO^2}{CO} = 0{,}82$ et $\frac{CO^2}{CO} = 0{,}51$ à la marche avec 2 Cowper seulement.

Avant d'aborder l'examen spécial de chacun des fourneaux en question, il convient de rappeler, en quelques mots, les éléments les plus importants qui influent sur la marche des hauts fourneaux.

Ce sont : le *profil intérieur*, la *pression du vent*, les *appareils de chargement* et de *prise des gaz*.

Voyons d'abord le *profil intérieur*, c'est-à-dire la forme et les dimensions des fourneaux.

Le profil est surtout caractérisé par le rapport $\frac{H}{D}$ de la hauteur totale au diamètre du ventre. J'ai inscrit la valeur de ces rapports au-dessous des profils (*voyez* Pl. VIII et IX). Ils indiquent que tous les hauts-fourneaux, dont s'est occupé M. Jaumain, sauf ceux de Hautmont, se rapprochent du type que j'appelle *trapu*, puisque $\frac{H}{D}$ est compris entre les extrêmes 2,83 et 3,87, et que ce rapport diffère peu, dans la plupart des cas, de la moyenne 3 à 3,2. Or, on sait que plus un haut-fourneau est trapu et moins les gaz sont uniformément répartis au gueulard. Il ne faut donc pas s'étonner des écarts considérables constatés par M. Jaumain dans la composition et la température des deux courants gazeux, surtout si l'on considère que l'emploi de la trémie et du tube central doivent forcément tendre à accentuer ces différences.

En adoptant des cuves presque cylindriques, on a cherché à corriger jusqu'à un certain point les défauts de la forme trapue; mais les trémies à prises latérales annulent en partie les avantages de la cylindricité de la cuve.

A Réhon, au four n° 2, et surtout dans les usines du Luxembourg, on a même ajouté un excès de volume au défaut de la forme trapue, oubliant qu'on ne dépasse jamais impunément la capacité-limite de 200 à 250 mètres cubes. Le vent ne circule pas régulièrement dans les fourneaux *monstres*. Il reste dans l'axe du fourneau une

colonne inerte que le vent ne pénètre pas, ce qui réduit le volume *utile* au maximum que je viens de rappeler. Ces minerais mal préparés entraînent de fréquents dérangements à leur arrivée dans la région de fusion.

Cette impossibilité du vent à atteindre l'axe des fourneaux trop larges m'amène au deuxième des éléments importants des hauts-fourneaux, la *pression* du vent.

On a cru longtemps (voyez *Karsten*, etc.), que la pression du vent devait croître et décroître avec la densité du combustible. C'est une erreur; car, pour brûler du coke dans un cubilot, un ventilateur suffit, et l'anthracite la plus dense brûle même sans peine par simple tirage sur une grille, ou dans un four à chaux, pourvu que l'*épaisseur* de la couche incandescente soit proportionnée à la densité du combustible. En un mot, la pression du vent dépend uniquement de la résistance qu'il s'agit de vaincre ; il faut qu'elle soit assez forte pour que l'air atteigne partout, d'une façon égale, la masse combustible, ou plutôt que la vitesse du vent soit assez grande pour que la combustion se fasse autant que possible dans la région de l'axe, afin de ménager les parois. On fond les parois de l'*ouvrage* dès que la pression est trop faible.

Pour un même combustible et un même minerai il faut doubler la pression lorsque la hauteur du four est double, et, à hauteur égale, elle doit croître aussi avec la largeur, sinon le vent ne pénètre plus jusqu'à l'axe; de là la nécessité de proportionner la largeur à la hauteur et d'éviter les formes *trapues*. Enfin, dans un four de dimensions données, la pression du vent devra aussi s'élever avec la compacité et l'état de compression de la charge; elle devra être d'autant plus forte que le minerai et le combustible sont plus menus et plus sujets à se tasser sous leur propre poids. Il faut donc une pression de vent d'autant plus forte, ou des hauts-fourneaux d'autant moins élevés, que le coke ou le charbon de bois seront plus

friables, ou l'anthracite plus sujette à décrépiter sous l'action du feu.

Si j'insiste sur ce point c'est que trop souvent on s'imagine encore que la pression du vent doit varier uniquement avec la densité du combustible à brûler. Le combustible brûlera toujours, même dans le cas de pressions très faibles, mais la combustion se fera uniquement au voisinage des parois; le centre restera inerte. Dans le cas de minerais ordinaires, peu riches et terreux, comme la *minette* du Luxembourg, et surtout dans le cas d'une allure plutôt acide que basique, pour fonte blanche, le mal se traduit au reste plutôt par un simple surcroît de consommation que par une rapide corrosion des parois. La colonne centrale descend comme le reste; seulement le minerai, non réduit par l'oxyde de carbone dans la région supérieure, arrive presque intact aux étalages et s'y réduit alors dans la région de fusion, avec combustion de charbon solide, sous l'influence de l'acide carbonique; c'est la cause de la forte consommation des fourneaux qui sont trapus et à faible pression de vent. Or, bien certainement, dans plusieurs des fours belges, dont nous nous occupons, la pression du vent est en général trop faible.

A cet inconvénient s'en joint un autre, lorsque les minerais sont *riches*, *fusibles* et *manganésifères*, et surtout lorsque, pour avoir des fontes grises non sulfureuses, on les traite avec excès de calcaire à très haute température. Les faibles pressions, qui rapprochent la zone de fusion des parois, opèrent alors leur rapide corrosion. L'ouvrage s'élargit, la fonte et les laitiers se font jour au voisinage des tuyères; il faut souvent arrêter quelques heures pour refaire les parois dégradées. Ainsi, à Beaucaire, où l'on traite des minerais manganésifères, les parois de l'ouvrage se percent, malgré d'abondantes aspersions d'eau, dès que la pression du vent tombe au-dessous de $0^{m},180$, et à Schwechat, près de Vienne, en Au-

triche, les parois furent même percées, en amont du ventre, par les minerais fondus non réduits, par suite de la même insuffisance de pression.

Je ne saurais assez le redire, plus un haut-fourneau est élevé et plus les matières sont tassées à l'intérieur, plus aussi la pression du vent devra être forte pour maintenir toujours la région de fusion loin des parois. Dès que le vent est faible il ne peut pénétrer assez avant vers l'intérieur; la combustion se fait au voisinage des tuyères; et les gaz continuent à circuler le long des parois, à moins que, par le mode de chargement, on ne parvienne à rendre la colonne centrale plus perméable que le pourtour. Le danger de fondre les parois est d'ailleurs d'autant plus grand que la température du vent est plus élevée et le minerai plus riche en manganèse.

En Belgique la tendance des gaz à suivre les parois est favorisée, dans la plupart des fourneaux, par la pression peu élevée du vent et la forme trop *trapue* du profil intérieur. On a réagi, il est vrai, contre cette tendance en adoptant le tube central répartiteur du minerai, mais dans le seul haut-fourneau de Monceau-sur-Sambre le tube est assez grand, comme nous le verrons, pour atteindre complètement le but. Ceci nous amène au dernier élément de la marche des hauts fourneaux, les appareils de *chargement* et de *prise des gaz.*

Le but à réaliser est de rendre la colonne centrale plus perméable que le pourtour. Voyons ce qui a été fait à cet égard dans les fourneaux en question.

Le gueulard est ouvert, mais pourvu d'une trémie cylindrique pour la prise des gaz, et, au centre, comme je l'ai dit, se trouve un second tube concentrique fixe, qui tantôt est fermé par le haut, servant alors uniquement comme répartiteur de la charge, et tantôt en communication avec la conduite générale des gaz. Dans ce dernier cas il reçoit les gaz de la colonne centrale, mais n'agit guère par aspiration

sur les gaz des colonnes extérieures, sinon on ne constaterait pas des différences de température et de composition aussi grandes que celles qu'accusent les recherches de M. Jaumain. En un mot, la prise centrale n'exerce en réalité qu'une faible influence sur la direction du courant gazeux, au travers des charges, et ne modifie guère la réduction du minerai. Mais si l'effet de ce tube central est à peu près nul à ce point de vue, il en est tout autrement sous le rapport de la répartition des charges. Son action est, en effet, à cet égard des plus utiles.

M. Jaumain m'assure, dans l'une de ses lettres, que partout, où il a installé le tube central depuis 1870, la consommation a été réduite dans une certaine mesure, et nous verrons, en effet, bientôt que la faible consommation de Monceau doit être attribuée, au moins en partie, aux dimensions inusitées du tube central.

Voici, au reste, ce qui se passe dans les trémies à tube intérieur. Dans la plupart des fourneaux dont s'est occupé M. Jaumain, la trémie a 3 mètres de diamètre et le tube central 1 mètre. Il existe donc entre eux, pour la charge, un espace annulaire de 1 mètre de largeur. Dans cette charge le coke l'emporte par son volume sur celui du minerai, ce dernier ayant une densité 4 à 5 fois plus forte (1.800 à 2.000 kilog. le mètre cube contre 400 kilog.). Or, grâce à cette légèreté relative du coke, le minerai descend non seulement plus vite que le combustible, mais il refoule encore ce dernier, latéralement, dans tous les vides qui peuvent se rencontrer sur sa route. C'est ce qui arrive au débouché de l'espace annulaire. Sous le tube cylindrique central se forme un vide de 1 mètre de diamètre, que le coke tend à combler, tandis que le minerai, plus lourd, descend verticalement. Il y aura donc, au centre du fourneau, une colonne perméable de près de 1 mètre de diamètre, vers laquelle afflueront les gaz provenant de la masse annulaire des minerais. Ces gaz renfermeront surtout, outre l'azote,

de l'acide carbonique, dû à la réduction de l'oxyde de fer, et cet acide sera moins facilement ramené à l'état d'oxyde de carbone par le coke froid du centre que par celui du pourtour où circule rapidement, le long des parois, la grande masse des gaz chauds du bas. Il suit de là que la consommation sera d'autant moindre, entre certaines limites bien entendu, que la colonne centrale, formée de coke, sera plus grande. Ainsi au fourneau de Monceau, où la consommation est moindre qu'ailleurs, le tube central a reçu 1^{m},50 dans une trémie de 3^{m},70. Ce serait un exemple à imiter ailleurs; en tout cas, il faudrait évaser le tube central vers le bas.

Voyons maintenant ce qui se passe sur le bord externe de la trémie. Là aussi la charge rencontre le vide; le minerai descend verticalement et s'éloigne de la paroi, tandis que le coke y forme un anneau peu tassé, facile à parcourir par les gaz chauds du bas. Ceux-ci atteignent le gueulard, en proportion d'autant plus forte, sans réagir sur le minerai, que le coke est plus abondant le long des parois.

Or la largeur de cet anneau dépend des dimensions relatives de la trémie et du fourneau.

La largeur sera minimum si la trémie est légèrement conique, comme la cuve, et placée sur son prolongement, comme au four n° 1 de l'usine de Hautmont (*fig.* 5, Pl. VIII), entre autres.

Au four n° 2 de Hautmont, la trémie est, au contraire, trop petite (*fig.* 6); aussi la consommation y est-elle, par ce motif, plus forte.

Les trémies ouvertes, employées en Belgique, laissent perdre du gaz, même quand elles sont pourvues de prises centrales. A ce point de vue, on doit leur préférer le système *cup and cone*, généralement usité en France. L'avantage est cependant faible et peut être même nul, lorsque le tube central est suffisamment grand; car si la perte est per-

manente avec les trémies, elle est du moins faible et partielle, tandis qu'avec le *cup and cone* elle est presque totale pendant la durée même du chargement.

En tout cas, le système des trémies ouvertes est plus simple, moins coûteux et moins sujet aux dérangements que la cloche mobile. En Belgique on s'en contente, au reste, parce que les gaz recueillis suffisent largement pour les chaudières et le chauffage du vent.

Il me reste à dire un mot au sujet de la grande différence de température des deux courants gazeux. Que la colonne externe soit chaude, on ne doit pas trop s'en étonner. Il suffit de rappeler que les gaz montent rapidement, au travers du coke, le long des parois échauffées, sans réagir sur le minerai. Mais on pourrait croire que la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique devrait élever la température des gaz du centre. Cela arriverait, en effet, si l'oxyde de carbone était brûlé par l'oxygène *libre;* mais ici l'oxygène est fourni par l'oxyde de fer. Or, comme l'observait déjà Ebelmen, la chaleur absorbée par la réduction de l'oxyde de fer équivaut à peu près à celle qui est produite par la formation de l'acide carbonique. Voici les chiffres exacts, d'après les recherches les plus récentes.

Il faut trois équivalents de CO pour réduire un équivalent de Fe^2O^3. Donc comme 1 gramme de CO développe 2.400 calories, on a pour 3 équivalents de CO, rapportés à l'hydrogène pris pour unité, $3 \times (6 + 8) \times 2.400 = 100.800$ calories. D'autre part, d'après Thomsen, 1 gramme de fer développe 1.688 calories, en se transformant en peroxyde; donc deux équivalents de fer, réclament $2 \times 28 \times 1.688 = 94.528$ calories, somme peu inférieure à la précédente; et si l'on ajoute la chaleur absorbée par la déshydratation de l'oxyde de fer, on voit que la formation de l'acide carbonique, aux dépens du peroxyde hydraté, doit plutôt refroidir que réchauffer le courant gazeux du centre. La faible température relative de ce dernier est, par suite, tout à fait

naturelle, puisqu'un faible volume de gaz traverse la charge froide de coke et de minerai.

Après ces préliminaires, passons en revue les divers fourneaux dont s'est occupé M. Jaumain.

Comparons d'abord les deux hauts-fourneaux de Marchiennes. Les profils diffèrent peu l'un de l'autre. Les deux sont quelque peu trapus, puisque le rapport $\frac{H}{D}$ est égal à 3,2, ou plutôt 3, en prenant pour H la hauteur utile réellement occupée par les charges. Le minerai, la fonte et la température du vent sont les mêmes dans l'un et l'autre. Le fourneau n° 2 marche depuis douze ans, et, malgré cela, la consommation y est un peu moins forte qu'au n° 1, soit 1.100 kilog. de coke contre 1.150 kilog. Dans les deux fourneaux les trémies sont un peu faibles. La seule différence essentielle réside dans le nombre et la section des prises de gaz latérales. Pour une section du tube central de $0^{mq},78$, la somme des sections des deux prises latérales est de $2^{mq},45$, tandis que celle des trois prises latérales du n° 2 est de $1^{mq},50$ seulement. Les gaz sont donc davantage attirés vers la circonférence dans le n° 1. Là est la cause de la moindre température et du moindre volume des gaz du tube central. Les analyses diffèrent peu, mais comme les gaz du pourtour sont plus abondants au n° 1, la proportion totale d'oxyde de carbone y est par cela même plus considérable, ce qui s'accorde avec la consommation plus forte, ci-dessus signalée. On voit donc qu'il y aurait avantage à réduire plutôt la section des prises latérales.

Je n'ai rien à dire du haut-fourneau de Chatelineau, si ce n'est que sa marche doit être peu économique, puisque la température est excessive au gueulard, ce qui doit provenir de la trop faible pression du vent et de la disposition vicieuse de la trémie.

Le fourneau n° 1 de Réhon ressemble au n° 1 de Marchiennes; il est même un peu plus trapu, mais la trémie est

mieux disposée, ce qui doit corriger en partie la fâcheuse influence de l'excès de largeur au ventre. La forte consommation peut, du reste, tenir à la pauvreté du minerai, mais il est bien certain, d'autre part, que la pression et la température du vent sont faibles.

Le fourneau n° 2 de Réhon diffère des autres fours par son excès de volume. Il est certainement trop large pour une pression de vent de $0^m,10$ seulement. L'air ne peut pénétrer jusqu'au centre. Si le volume de la cuve, par tonne de fonte de moulage, atteint $5^m,66$, c'est qu'il doit exister dans l'axe du four une large colonne inerte, qui descend jusqu'aux étalages sans être réduite. L'influence de ce minerai réduit est considérable. Selon M. Jaumain, l'allure de ce fourneau se dérange souvent d'une façon brusque, sans abaissement notable de température. Les masses non réduites, qui tombent dans le creuset par intervalles inégaux, y réagissent certainement sur le laitier et la fonte.

Les deux hauts-fourneaux de Hautmont sont moins trapus que ceux de Marchiennes, la pression du vent au n° 5 plus forte, et la trémie dans des conditions rationnelles; on pourrait seulement désirer au tube central un diamètre plus grand ou un certain évasement vers le bas. La composition des gaz est bonne et la consommation faible.

Au n° 2, la consommation est un peu plus forte, malgré le vent plus chaud, parce que la pression est ramenée de $0^m,16$ à $0^m,14$, et que la cuve est trop large pour la trémie. L'analyse donne aussi plus d'oxyde de carbone qu'au n° 1.

Les hauts-fourneaux de Wez-Saint-Martin sont essentiellement trapus, et les trémies trop peu larges pour les cuves; aussi la consommation est-elle forte eu égard à la richesse du minerai. Le n° 1 surtout consomme beaucoup à cause de la faible pression du vent ($0^m,12$). Les résultats des analyses et la température sont modifiés par le mélange du tan au coke.

Le fourneau du Monceau présente une anomalie singu-

lière, assez difficile à expliquer au premier abord. Les gaz du centre sont plus riches en oxyde de carbone que ceux du pourtour. Observons toutefois que la trémie diffère de celle des autres fourneaux. Le tube central a des dimensions relatives plus grandes : 1m,50 de diamètre pour une trémie de 3m,70; il ne reste donc, entre le tube et la trémie, qu'un espace annulaire de 1m,10 de largeur pour la charge. De plus, l'espace libre entre la trémie et la paroi est fort restreint, en sorte que tout concourt à faire affluer les gaz vers le tube central, qui probablement en reçoit plus que les prises latérales. Ce même fort diamètre du tube central explique l'abondance de l'acide carbonique dans les gaz du pourtour. Le grand diamètre a pour conséquence l'accumulation du coke au centre et une plus forte proportion de minerai au voisinage des parois. Par suite, la répartition des charges est plus rationnelle et la réduction se fait dans de meilleures conditions; de là vient la proportion plus élevée de CO^2 et la faible consommation qui, au reste, doit être partiellement attribuée aussi à la température élevée du vent (500 degrés).

Enfin, malgré la forte production, on ne peut que blâmer les dispositions adoptées dans les fours du Luxembourg.

Comme le n° 2 de Réhon, ils sont trop hauts et surtout trop larges pour une pression de vent de 0m,15 à 0m,16 seulement. La disposition de la trémie est, en outre, très vicieuse, en sorte que là surtout il doit se former une colonne inerte aux approches du centre. C'est plus que suffisant pour expliquer la forte consommation de 1.180 kilog., malgré une température de vent de 550 degrés. La réduction s'y fait certainement, dans une proportion élevée, aux dépens du carbone solide.

En résumé, l'intéressant travail de M. Jaumain fait ressortir l'influence des dimensions, des prises de gaz, de la pression du vent et du mode de répartition des charges sur la consommation des hauts-fourneaux.

Il prouve, en outre, que la trémie, avec gueulard ouvert, n'est à conseiller que si le diamètre du tube central, légèrement évasé vers le bas, dépasse le tiers du diamètre de la trémie, et si la trémie elle-même est placée de façon à se trouver sur le prolongement exact des génératrices de la cuve.

NOTICE
SUR LA BURETTE A GAZ
DU DOCTEUR H. BÜNTE

Traduction, par extraits (*), par M. JAUMAIN, ingénieur des hauts fourneaux de la Providence, à Marchiennes.

La burette à gaz du docteur Bünte, dont nous avons parlé plus haut (voir *suprà*, p. 324), est représentée Pl. IX, *fig.* 12 et 13.

Pour remplir la burette avec du gaz, on place le robinet à 3 ouvertures *a* de telle façon que le trou axial soit en communication avec la partie graduée de la burette A; après cela on verse de l'eau dans l'entonnoir *t* et l'on met ensuite la burette en communication, au moyen d'un tube en caoutchouc, enfilé sur la pointe du robinet, avec le réservoir à gaz ou avec le canal d'où l'on peut tirer les gaz. Avec la pointe inférieure de la burette on fait communiquer une pompe en caoutchouc V, *fig.* 13, ou un aspirateur (le robinet *b* étant ouvert) ; on aspire le gaz jusqu'à ce que tout l'air qui se trouvait dans l'appareil soit chassé. On tourne les robinets *a* et *b* de 90 degrés. L'eau qui se trouve dans l'entonnoir empêche la communication des gaz avec le dessus. La pointe du robinet à 3 ouvertures est ensuite

(*) *Anleitung zur chemischen Untersuchung der Industriegase* von Dr. Cl. Winkler : Freiberg 1877; *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung* 1877, p. 447 und 1878, p. 263; *Dingler's polytechn. Journal* 1878, Band 227, p. 167; 228, p. 529; *Thonindustriezeitung* 1878, No. 25 und 26.

fermée avec un tube en caoutchouc et une baguette en verre.

Si le gaz se trouve dans un réservoir aspirateur on le fait passer de la manière suivante dans l'appareil : on remplit complètement la burette avec de l'eau et l'on met en communication la pointe du robinet à 3 ouvertures avec le réservoir. Si le gaz est sous pression on en laisse échapper une partie, par le tube capillaire, à travers l'eau qui se trouve dans l'entonnoir, en tournant le robinet *a* convenablement, et ainsi toute l'eau de la conduite est complètement expulsée. On tourne ensuite *a* de 180° et l'on ouvre le robinet inférieur *b*; pendant que l'eau s'écoule par *b*, la burette se remplit de gaz.

Manière de mesurer les gaz et absorption. — On met le tube qui communique avec le vase F, après que celui-ci a été rempli complètement d'eau, en communication avec la pointe du robinet *b* (*fig.* 12); on ouvre celui-ci, en même temps que la pince qui se trouve sur le tube en caoutchouc, et on laisse entrer de l'eau dans la burette par le bas jusqu'à ce que le niveau soit au zéro de la graduation.

On a alors 100 centim. cubes dans la burette. Le gaz superflu s'est échappé par le robinet *a* en passant à travers l'eau qui se trouve dans l'entonnoir. On ferme ensuite le robinet *a* en le tournant de 90°.

Pour faire passer la liqueur absorbante dans la burette on fait écouler l'eau qui se trouve dans le cylindre gradué en faisant communiquer le tube en caoutchouc *s* du flacon S avec la pointe de la burette; on ouvre le robinet *b* et l'on aspire avec l'embouchure du tuyau *r*. Lorsque l'eau s'est écoulée jusqu'aux moindres restes, on ferme *b* et l'on ôte le flacon aspirateur. La liqueur absorbante (potasse caustique, pyrogallate de potasse) est versée dans une capsule en porcelaine P, et la pointe de la burette est descendue dans la liqueur; si l'on ouvre le robinet *b*, la liqueur absorbante est

aspirée dans la burette. Pour hâter l'absorption on ferme le robinet *b* et on secoue la burette. A cet effet on prend la burette par l'entonnoir, dont on ferme l'ouverture avec la main, et on la remue fortement dans la position horizontale. S'il n'est pas entré assez de liqueur absorbante on peut, suivant le procédé décrit plus haut, aspirer une nouvelle quantité de liqueur dans la burette; la réaction finie, on met en communication le cylindre gradué avec l'entonnoir en tournant le robinet *a*; on laisse couler l'eau de l'entonnoir et l'on remplit celui-ci avec de l'eau jusqu'à la marque. Le gaz se trouve alors de nouveau sous la même pression qu'au commencement. Après que le niveau est devenu constant on mesure la quantité de gaz restant. La contraction qui s'est produite donne le volume du gaz absorbé en centièmes du volume total.

Quand il s'agit de faire une analyse de fumées de combustion, on aspire d'abord de la potasse caustique dans la burette. Après absorption complète, et après avoir remis le gaz sous la même pression, la diminution donne le volume d'acide carbonique. Pour déterminer l'oxygène dans le gaz restant, on laisse écouler une partie de la potasse caustique, puis on laisse entrer une solution aqueuse d'acide pyrogallique et de potasse. La présence de l'oxygène est décelée par la couleur de la liqueur, qui devient plus foncée. On agite le gaz avec la liqueur absorbante jusqu'à ce que, en ouvrant le robinet *a*, la liqueur reste dans le tube capillaire, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il ne coule plus d'eau de l'entonnoir dans la burette.

Pour doser l'oxyde de carbone du gaz, il faut enlever complètement le pyrogallate de potasse de la burette. On aspire à cet effet la liqueur au moyen du flacon S jusqu'à ce qu'il n'y reste que quelques gouttes, puis on ouvre le robinet *a* et on laisse couler de l'eau de l'entonnoir le long des parois de la burette; on ferme *a* et on aspire de la même manière l'eau de lavage. En répétant cette manipulation

plusieurs fois la liqueur absorbante est complètement enlevée. On laisse alors entrer la solution acide de clhorure de cuivre.

Comme les liqueurs absorbantes adhèrent au verre, on fait également mieux, avant de noter le niveau, de remplacer les liqueurs par de l'eau. On ouvre les robinets *a* et *b* et on laisse rentrer l'eau de l'entonnoir en faisant en même temps écouler la liqueur absorbante par le robinet *b*.

Quand on fait usage d'une solution acide de chlorure de cuivre, on se sert d'acide chlorhydrique dilué au lieu d'eau.

La *fig.* 13 montre la disposition de l'appareil pour le dosage de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène par combustion. On mélange d'abord le gaz qui se trouve dans la burette avec de l'air atmosphérique en laissant écouler la liqueur par *b* et en faisant entrer de l'air par l'ouverture axiale du robinet à 3 ouvertures *a*, après avoir coupé la communication en *v*. On rétablit la pression primitive en mettant en communication la burette et l'entonnoir par le robinet *a*. Alors on relie, comme le montre la figure, la burette avec le tube B qui est rempli d'eau jusqu'à la partie étroite courbée, et en tournant le robinet *a* on fait communiquer l'intérieur de la burette avec le tube de combustion *v*. Ce dernier est chauffé au moyen d'une lampe de Bunsen ou à alcool L. Il faut faire en sorte que toute l'eau soit chassée du robinet et du tube capillaire et qu'elle soit renvoyée dans la burette. La combustion se fait en faisant passer le mélange du gaz de la burette dans le tuyau B, à travers le tube *v*, chauffé au rouge, dans lequel passe un fil de palladium.

A cet effet on laisse écouler de l'eau par la pointe du tuyau B, tandis que du flacon F il en entre par le bas dans la burette de manière à chasser le gaz. On laisse monter l'eau dans la burette jusqu'au robinet et l'on ferme ensuite les robinets *b* et b_1.

Par l'opération inverse on fait de nouveau passer le gaz de B dans la burette; on le laisse refroidir et, après avoir rétabli la pression, on mesure la contraction. Si le gaz brûlé est de l'hydrogène, la contraction multipliée par 2/3 donne le volume primitif du gaz hydrogène brûlé. Si le gaz brûlé est de l'oxyde de carbone, il se forme un volume égal d'acide carbonique et la contraction est la moitié de CO. Ainsi, pour doser CO, on enlève une partie de la liqueur de la burette, puis on laisse entrer de la potasse caustique et l'on procède comme il a été dit plus haut. La contraction totale, résultant de la combustion et de l'absorption, multipliée par 2/3, donne le volume de l'oxyde de carbone.

L'hydrogène et l'oxyde de carbone peuvent être ainsi dosés ensemble ou séparément.

NOTE

SUR L'AUTORITÉ COMPÉTENTE

POUR CONNAITRE DES INDEMNITÉS DUES

PAR UN CONCESSIONNAIRE DE CHEMIN DE FER

A RAISON

D'UN MASSIF DE PROTECTION

RÉSERVÉ DANS UNE MINE POUR LA SÉCURITÉ DE LA VOIE FERRÉE

Par M. L. AGUILLON, ingénieur des mines.

Les *Annales des mines* ont rapporté (*) une décision du tribunal des conflits, du 5 mai 1877, qui attribue à l'autorité judiciaire le réglement de l'indemnité due par un concessionnaire de chemin de fer au propriétaire d'une mine, concédée avant le chemin de fer, dont une partie doit rester inexploitée, « jusqu'à ce qu'il en soit décidé autrement », pour assurer la sécurité de la voie ferrée.

Le soin tout particulier avec lequel cette décision a été motivée en fait, conduit à se demander s'il n'y a pas là seulement une simple décision d'espèce et non un véritable changement de jurisprudence. En tout cas, la question mérite d'être approfondie, et nous nous proposons de rappeler ici les solutions que lui a déjà données la jurisprudence.

Il y a près d'un demi-siècle une affaire de cette nature se présenta, pour la première fois, entre le chemin de fer

(*) Volume de 1877, p. 248.

de Saint-Étienne à Lyon et les mines de houilles de Couzon. Les *Annales* ont rendu compte (*) de tous les détails de cette longue affaire, restée justement classique.

Nous nous bornerons à rappeler les conclusions qui prévalurent définitivement à cette époque.

Ce n'était pas alors la question de compétence qui était seule controversée, c'était le principe même de l'indemnité.

On faisait observer qu'il ne s'agissait pour la mine que d'une servitude prescrite au nom de la sécurité publique, en vertu des pouvoirs de police attribués à l'administration par le titre V de la loi de 1810; on en concluait que de pareilles servitudes devaient être supportées sans indemnité. Ce système fut adopté par les Cours de Lyon (arrêt du 12 août 1835) (**) et de Dijon (arrêt du 25 mai 1838); soutenu devant les chambres réunies de la Cour de cassation par le procureur général Dupin, il ne prévalut pas, malgré l'appui d'une parole si autorisée. Le mémorable arrêt rendu, chambres réunies, le 3 mars 1841 (***), confirma définitivement le principe de l'indemnité, déjà consacré par le premier arrêt de cassation intervenu dans cette affaire le 18 juillet 1837 (****). Avant la Cour de cassation, le Conseil d'État s'était d'ailleurs prononcé dans le même sens par l'ordonnance rendue sur conflit le 8 avril 1831 (*****).

Depuis lors, le principe de l'indemnité est hors de cause : tous les cahiers des charges de chemins de fer contiennent une clause qui le mentionne expressément. Malgré l'importance que conserve toujours cette question au point de

(*) 1er volume de 1839, p. 672. — 2e volume de 1841, p. 65. — 2e volume de 1846, p. 774.
(**) 1er volume de 1839, p. 687.
(***) 2e volume de 1841, p. 658.
(****) 1er volume ne 1839, p. 692.
(*****) 1er volume de 1839, p. 682.

vue théorique, il serait sans intérêt pratique de la discuter à nouveau aujourd'hui.

La controverse s'est maintenue sur l'autorité appelée à régler l'indemnité.

Dans l'affaire des mines de Couzon, la Cour de cassation et le Conseil d'État avaient été unanimes à proclamer la compétence de l'autorité judiciaire. La Cour de cassation paraît être restée invariablement fidèle à cette doctrine adoptée par les tribunaux civils toutes les fois qu'il leur a été donné de pouvoir le faire. Ainsi, dans son arrêt du 3 janvier 1853 (*), la cour régulatrice a reconnu que c'était à l'autorité judiciaire à connaître du règlement de l'indemnité due à un redevancier tréfoncier qui se trouvait privé de ses redevances par suite de l'investison créé pour la sécurité de la voie ferrée. Conformément à cette doctrine, le tribunal de Saint-Étienne (18 juillet 1859) et la Cour de Lyon (28 juillet 1860) ont admis leur compétence dans un débat entre les mines de Combes et d'Egarande et le chemin de fer de Lyon à la Méditerranée (**); et tout récemment le tribunal de la Seine, par un jugement du 11 juin 1880 (***) dont il n'a pas été fait appel, s'est prononcé dans le même sens entre les mines de houille de Faymoreau et le chemin de fer d'Orléans (ligne d'Angers à Niort).

Le Conseil d'État, au contraire, a, depuis l'affaire des mines de Couzon, soutenu une doctrine opposée. Ce changement de doctrine fut indiqué pour la première fois, implicitement du moins, dans le décret au contentieux du 18 juin 1860 (****), par lequel le Conseil rejeta un recours pour excès de pouvoirs, formé contre un arrêté préfectoral qui, après avoir fixé un investison, renvoyait expressément les parties devant le conseil de préfecture pour le règle-

(*) *Infrà*, partie administrative, p. 414.
(**) *Infrà, ibid.*, p. 415.
(***) *Infrà, ibid.*, p. 423.
(****) *Infrà, ibid.*, p. 418.

ment des indemnités. On fondait le recours sur le motif qu'il appartenait aux autorités, instituées par la loi du 3 mai 1841 sur l'expropriation pour cause d'utilité publique, de régler cette indemnité. Mais quand bien même le Conseil d'État eût au fond partagé cette manière de voir, il eût été difficile, en la forme, d'accueillir un recours pour excès de pouvoirs ainsi motivé. Un arrêté préfectoral, en effet, ne peut pas régler l'ordre des compétences ; peu importe l'attribution de juridiction, fondée ou non, qu'un préfet croit devoir faire; ses prescriptions à cet égard ne mettent nul obstacle à ce que les parties portent leurs revendications devant qui de droit. Le préfet peut impunément en pareille matière commettre une erreur de doctrine; elle n'a et ne peut avoir aucune conséquence pour les parties puisqu'elle ne les lie pas.

Mais par le décret rendu sur conflit le 11 mars 1861 (*), dans l'affaire où le tribunal de Saint-Étienne et la Cour de Lyon avaient admis leur compétence, le Conseil d'État résolut, très explicitement cette fois, la question en disant que « le préjudice qui pouvait résulter de l'interdiction ne constituait qu'un dommage, et la connaissance des demandes en indemnité pour la réparation de ce dommage est réservée à l'autorité administrative par l'article 4 de la loi du 28 pluviôse an VIII ». Dans l'espèce, l'administration avait interdit aux concessionnaires de la mine d'opérer toute extraction soit de houille, soit de matériaux de remblai, à une distance moindre de 30 mètres du plan vertical passant par l'axe du chemin de fer, « jusqu'à ce qu'il en soit autrement ordonné ». Pour le tribunal civil de Saint-Étienne et la Cour de Lyon cette interdiction constituait à l'encontre du concessionnaire de la mine une « véritable éviction du droit de propriété », « une véritable expropriation », dont l'autorité judiciaire seule devait connaître.

(*) *Infrà*, partie administrative, p. 419.

Ultérieurement le Conseil d'État a affirmé par deux fois le principe de la compétence de l'autorité administrative dans les affaires Marin (D. C. 14 avril 1864) (*) et Ogier et Larderet (A. C. 5 février 1875) (**). Dans la première de ces deux affaires, il a annulé un arrêté du conseil de préfecture de la Loire, qui s'était declaré incompétent pour connaître d'une action en indemnité portée devant lui contre le chemin de fer par un redevancier tréfoncier que l'interdiction d'exploiter privait de ses redevances ; dans la seconde, il a réglé définitivement, sur l'appel d'un arrêté du conseil de préfecture du même département, l'indemnité due également à des redevanciers tréfonciers dans les mêmes circonstances.

Le changement survenu dans la jurisprudence du Conseil d'État, depuis l'affaire des mines de Couzon, paraît devoir se rattacher à un principe doctrinal posé en matière de travaux publics par le premier tribunal des conflits. On sait qu'en vertu des lois du 24 pluviôse an VIII et du 16 septembre 1807, il appartient à l'autorité administrative de connaître des dommages qui résultent de l'exécution des travaux publics. Mais, avant les décisions du tribunal des conflits de 1850, la jurisprudence avait souvent varié sur la définition précise et les limites de ce qu'il fallait entendre par un « *dommage* » rentrant dans la compétence administrative. On en était arrivé à distinguer le *dommage temporaire* du *dommage permanent* ; certains dommages permanents, « en raison de l'éviction véritable de propriété » qu'ils constituaient, tels que l'établissement d'une servitude permanente d'écoulement, la diminution permanente d'une force motrice, avaient été parfois considérés comme devant rentrer dans la compétence judiciaire à titre de « véritable expropriation ». Où poser la

---

(*) *Infrà*, partie administrative, p. 420.
(**) *Infrà, ibid.*, p. 421.

limite qui devait servir de base à cette distinction, c'est ce qu'il eût été difficile de tirer d'une jurisprudence qui resta en somme quelque peu indécise. Ce fut cette séparation entre les compétences que le premier tribunal des conflits résolut avec netteté et précision par plusieurs décisions, dont la première et la plus importante, du 29 mars 1850 (affaire Thomassin), porte : « Les lois du 28 pluviôse an VIII et 16 septembre 1807 ont chargé l'autorité administrative de prononcer sur la réclamation des particuliers pour tous les torts ou dommages résultant de l'exécution des travaux publics, jusques et y compris l'expropriation des immeubles ; les lois des 8 mars 1810, 7 juillet 1833 et 3 mai 1841 n'ont enlevé à ladite autorité que la connaissance des actions en indemnité pour expropriation totale ou partielle ».

A la suite de ces décisions, la Cour de cassation avait elle-même paru abandonner la distinction entre les dommages temporaires et les dommages permanents, que jusque-là, au contraire, elle avait rigoureusement maintenue ; dans un arrêt du 29 mars 1852 (préfet d'Alger contre Pommier), elle dit, en définissant mieux encore ce qu'il faut entendre par un « dommage » en matière de travaux publics : « l'attribution de compétence en faveur de l'administration relativement aux réclamations des particuliers pour les torts et dommages provenant de l'exécution des travaux publics s'applique, hors le cas d'expropriation, à toute espèce de dommages résultant soit du fait personnel des entrepreneurs, soit du fait ou de la faute de l'administration elle-même, sans qu'il y ait lieu de distinguer entre les dommages purement temporaires et les dommages permanents ; les lois des 8 mars 1810, 7 juillet 1833 et 3 mai 1841 n'ont enlevé en effet au contentieux administratif, pour l'attribuer à l'autorité judiciaire, que la connaissance des actions en indemnité pour expropriation totale ou partielle ».

Ainsi, dans cette doctrine, la distinction entre le dom-

mage temporaire et le dommage permanent devenait désormais oiseuse; l'autorité judiciaire en matière de travaux publics ne devait plus connaître que des cas d'expropriation proprement dite, et elle ne pouvait en connaître que par la juridiction spéciale constituée par le jury d'expropriation. Quant à la démarcation entre le dommage et l'expropriation, elle ne peut, en fait, soulever de difficultés. Un des caractères essentiels auxquels on reconnaîtra toujours l'expropriation, c'est la mutation de propriété de l'exproprié au domaine public, ou tout au moins la perte de propriété subie par l'exproprié. Sans doute, le jury d'expropriation peut être appelé à allouer et alloue régulièrement des indemnités à d'autres qu'aux propriétaires dépossédés, comme aux locataires, fermiers, usufruitiers ou encore pour l'éviction de certaines servitudes. Mais toutes ces indemnités ne sont alors que des conséquences de l'indemnité due pour expropriation de l'immeuble loué, affermé ou assujetti à une servitude.

Un décret au contentieux, rendu sur conflit le 27 août 1875 (Robe), au sujet d'une indemnité pour perte de force motrice résultant de l'exécution d'un travail public, est intéressant à citer ici comme affirmation de cette doctrine. « D'après l'article 57 de la loi du 16 septembre 1807, porte le décret, c'est le conseil de préfecture qui est chargé..... de régler l'indemnité; les dispositions de la loi du 16 septembre 1807 n'ont été ni rapportées, ni modifiées par les lois, intervenues postérieurement, pour régler la matière de l'expropriation pour cause d'utilité publique; — ces lois, notamment celle du 3 mai 1841, aujourd'hui en vigueur, ne sont applicables qu'au cas où, par suite de l'exécution de travaux publics, il est nécessaire d'exproprier en tout ou en partie des terrains, bâtiments ou édifices; — si les autorités chargées de prononcer sur les demandes d'indemnité pour l'expropriation de ces immeubles sont aussi appelées à faire le règlement des indemnités

pouvant être dues, pour privation de droits immobiliers existant sur lesdits terrains, bâtiments ou édifices, ce n'est qu'accessoirement et comme une conséquence nécessaire de l'acquisition du domaine plein et absolu, tel que l'exige l'utilité publique ».

Or, que se passe-t-il en réalité quand un investison est créé dans une mine pour la sûreté d'un chemin de fer? Le concessionnaire du chemin de fer acquiert-t-il la propriété de la partie de la mine interdite? Non, puisqu'il ne peut le faire sans les formalités prévues par le titre IV de la loi de 1810. Le concessionnaire de la mine ne perd pas même la propriété de cette partie du domaine primitivement institué en sa faveur, puisqu'il ne pourrait la perdre, aux termes de l'article 7 de la loi de 1810, qu'après l'accomplissement de ces mêmes formalités. Le vrai caractère, en droit, de la mesure qui nous occupe, c'est la création d'une servitude d'un genre particulier dont l'usage est réglé par l'administration, qui est constituée sur la mine, pour cause de sûreté publique, en faveur du chemin de fer. Cela est si vrai que l'administration pourra autoriser et a effectivement autorisé le concessionnaire à traverser l'investison par certaines galeries déterminées, à ne le maintenir que jusqu'à une certaine profondeur verticale, comme dans l'affaire précitée des mines de Faymoreau et du chemin de fer d'Orléans, toutes choses légalement faites, mais absolument incompatibles avec toute idée d'acquisition de propriété de l'investison par le concessionnaire du chemin de fer ou de perte de propriété par le concessionnaire de la mine. Ce caractère légal s'affirme encore par ce qui arriverait dans le cas où le chemin de fer disparaîtrait, ou bien encore dans le cas où l'interdiction d'exploitation serait ultérieurement rapportée par l'autorité administrative. La servitude cesserait alors, *de plano*, comme cessent toutes servitudes, en droit commun, aux termes de l'article 703 du Code civil, quand elles n'ont plus d'objet. Le

concessionnaire de la mine récupérerait son droit complet de jouissance sans que le concessionnaire du chemin de fer pût prétendre exploiter, quand bien même, le sol sortant du domaine public, lui resterait à titre de propriété privée. Que le temps pour lequel une pareille servitude est établie soit plus ou moins long, qu'il reste indéterminé, d'une durée qui paraisse même devoir être indéfinie, peu importe; le caractère, que nous venons de définir, n'en subsiste pas moins inaltéré. Suivant la doctrine et la définition du tribunal des conflits de 1850 et de l'arrêt de cassation de 1852, il n'y a donc jamais làqu'un dommage résultant de l'exécution d'un travail public, nullement une expropriation par suite de dépossession. D'où il suit que l'autorité compétente pour connaître de l'indemnité est l'autorité administrative, le conseil de préfecture, et non l'autorité judiciaire, le jury d'expropriation.

Tels sont les motifs sur lesquels paraissait être fondée la doctrine, maintenue jusqu'ici par le Conseil d'État, mais condamnée par la décision du 5 mai 1877. Pour le nouveau tribunal des conflits, lorsque l'interdiction d'exploiter paraît, d'après les circonstances du fait, devoir durer indéfiniment, la situation faite dans ces circonstances au concessionnaire de mines équivaut « à une dépossession définitive » assimilable à une expropriation et non plus à un dommage. Les observations qui précèdent montrent les objections soulevées par cette doctrine et les difficultés auxquelles elle pourrait conduire un jour. En 1828, on pensait bien aussi, quand on le construisait, que le tunnel de Couzon devait durer indéfiniment et l'investison de la mine avec lui; aujourd'hui pourtant, cinquante ans après, il a été abandonné par le chemin de fer. Aussi bien il est peut-être permis de dire que la nouvelle solution donnée à cette question satisfait beaucoup moins l'esprit, parce qu'elle n'offre pas cette précision et cette netteté dans la définition et dans l'appréciation des

conséquences que présentait, au contraire, la doctrine de 1850. Le nouveau tribunal des conflits s'est probablement inspiré de la tendance, de plus en plus marquée actuellement, de dessaisir les tribunaux administratifs en faveur de l'autorité judiciaire ; il se peut aussi qu'il ait voulu réagir contre certains arrêtés d'occupation ou d'interdiction, arrêtés dits temporaires, qui étaient renouvelés assez souvent pour de courtes périodes, alors qu'il était pour ainsi dire constant qne l'occupation ou l'interdiction devaient durer un temps indéterminé, indéfini même. Qu'il y ait eu là un certain abus, dans la forme beaucoup plus que dans le fond, la chose est possible. Mais le Conseil d'État aurait bien su faire rendre bonne et entière justice, tout comme pour ces occupations temporaires de terrains sous lesquelles on avait cherché à déguiser de véritables expropriations. Dans les cas d'investisons de mines, la juridiction administrative aurait pu faire régler toute l'indemnité due, aussi justement et équitablement qu'elle la fixe quand il s'agit, par exemple, de dommages permanents en matière de travaux publics.

On peut ajouter, à un autre point de vue, que la compétence de l'autorité judiciaire s'expliquerait encore si le chemin de fer était une propriété privée ; il s'agirait alors de contestations entre intérêts privés qui sont exclusivement du domaine du juge civil. Mais ce n'est pas à titre de propriété privée que le chemin de fer est protégé par l'établissement de l'investison, c'est à titre de travail public, pour cause d'utilité publique, comme en matière de grande voirie. Il ne s'agit plus là de droit commun ; la législation spéciale sur la matière doit résoudre la difficulté.

Toutes ces objections, que soulève la décision du 5 mai 1877, sont bien quelque peu de nature à faire douter que cette décision soit appelée à former une jurisprudence admise sans contestation. Il semble déjà que le Conseil d'État est peu disposé à l'accepter et il paraît vouloir per-

sister à reconnaître exclusivement la compétence administrative. C'est du moins la conclusion qu'on est tenté de tirer de l'arrêt au contentieux du 18 mars 1881 (*). Sans doute, dans l'affaire au sujet de laquelle a été rendu cet arrêt, il s'agit d'une carrière et non d'une mine, et les relations réciproques d'un chemin de fer et d'une carrière ne sont pas tout à fait identiques à celles d'un chemin de fer et d'une mine concédée. On ne voit pas cependant, dans l'espèce, pourquoi les motifs invoqués par le Conseil d'État ne pourraient pas identiquement s'appliquer au cas de l'investison prescrit dans une mine même « pour une durée indéfinie ». Dans ce cas aussi, en effet, on peut dire avec l'arrêt précité que « si l'interdiction a pour effet de priver le concessionnaire de la faculté d'user de sa propriété de la façon la plus avantageuse, elle n'a pour effet ni d'en déposséder le concessionnaire, ni de l'empêcher d'en jouir suivant tel autre mode qu'il pourra adopter ». Cet arrêt, venant immédiatement après la décision du tribunal des conflits, est d'autant plus à remarquer que le conseil de préfecture de la Haute-Savoie, s'inspirant de la doctrine de cette décision, s'était déclaré incompétent.

Le concessionnaire d'un chemin de fer postérieur à la concession d'une mine peut aussi, le cas échéant, avoir, on le sait, à payer une indemnité aux propriétaires superficiaires qui auraient droit à des redevances tréfoncières proportionnées au produit de l'exploitation, comme cela se présente pour les mines de houille de la Loire. Le principe n'a jamais été sérieusement contesté et nous avons rapporté ci-dessus trois affaires où il avait été explicitement reconnu tant par la cour de cassation (arrêt du 3 janvier 1853) que par le Conseil d'État (14 avril 1864, Marin; 5 février 1875, Ogier et Larderet). Il résulterait implicitement de la décision du tribunal des conflits du 5 mai

(*) Partie administrative, volume de 1881, p. 370.

1877 que l'autorité judiciaire devrait désormais connaître également du règlement de ces indemnités comme de celles dues au concessionnaire.

Le tribunal des conflits ne s'est pas prononcé sur la question de savoir si, pour ces deux sortes d'indemnités, l'autorité judiciaire compétente serait les tribunaux civils ou le jury d'expropriation. La logique semblerait indiquer que, dans un pareil système, le jury d'expropriation devrait régler l'indemnité due au concessionnaire de la mine, tout au moins dans les espèces analogues à celle dans laquelle est intervenue la décision du 5 mai 1877, c'est-à-dire dans lesquelles il semblerait résulter des circonstances qu'il y a une « dépossession définitive ».

En fait, il n'en a jamais été ainsi jusqu'à ce jour et le règlement des indemnités, quand il a été fait par l'autorité judiciaire, s'est toujours poursuivi devant les tribunaux ordinaires comme celui d'un simple dommage. C'est ainsi que se poursuivent en ce moment l'affaire de la compagnie des houillères de Saint-Étienne contre le chemin de fer de la Méditerranée et celle des mines de Faymoreau contre le chemin de fer d'Orléans.

Pour les redevanciers tréfonciers, en particulier, il semblerait qu'il ne devrait y avoir indemnité que dans ces cas de « dépossession définitive ».

Si, en effet, il était constant, en fait, que l'interdiction d'exploiter ne devait avoir qu'une durée limitée, la jouissance du redevancier pourrait être différée ; mais elle ne serait pas supprimée. Or, n'est-il pas dans la nature même de la jouissance du droit de tréfonds d'être exposée à être différée plus ou moins longtemps, brusquemeni interrompue même, suivant la marche des travaux que le concessionnaire peut diriger sans que le redevancier puisse intervenir, en quoi que ce soit, dans leur conduite. Le redevancier suit la fortune du concessionnaire agissant librement à cet égard, sous la simple surveillance administrative, qui

doit intervenir uniquement pour la protection des intérêts généraux, sans se préoccuper des intérêts privés que peut faire souffrir la marche des travaux (*).

Cette doctrine est portant en désaccord avec celle admise par le Conseil d'État dans l'arrêt du 5 février 1875 (Ogier et Larderet), qui a pris bien soin de faire remarquer que, dans le calcul de l'indemnité, il y avait lieu de tenir compte de ce que l'arrêté d'interdiction pouvait être ultérieurement modifié de manière à permettre l'exploitation d'une partie des couches contenues dans le tréfonds des redevanciers.

On peut enfin se demander ce qu'il arriverait si le chemin de fer, pour la sécurité duquel un massif de protection a été réservé dans une mine, venant à être déplacé, l'interdiction d'exploiter n'était plus nécessaire pour assurer la sécurité de la surface. La jurisprudence n'a pas encore donné à cette question de solution positive ; il ne paraît pas difficile de prévoir celle qui interviendrait le cas échéant.

Plusieurs cas peuvent se présenter, car la jurisprudence admet que, suivant les circonstances, le sol, cessant de faire partie du domaine public, peut rester à titre de propriété privée au concessionnaire du chemin de fer ou faire retour au domaine de l'Etat ; à un autre point de vue, le chemin de fer peut être établi à la surface même du sol ou en souterrain ; mais, au fond, ces distinctions de fait ne présentent aucun intérêt pour le concessionnaire de la mine et n'en ont guère pour le redevancier tréfoncier.

Pour le concessionnaire de la mine tout d'abord, nous avons déjà indiqué, au cours de ces observations, quelle serait sa situation. En droit, avons-nous dit, il ne pouvait pas être et n'a pas été dépossédé, en ce sens que la concession de la partie de la mine interdite n'a pu lui être

(*) Voir *Annales des mines*, 2e volume de 1841, p. 553, l'arrêt de la Cour de Lyon du 3 juin 1841 qui a reconnu ce principe, et le commentaire de cet arrêt fait par M. de Cheppe.

retirée pour être attribuée au concessionnaire du chemin de fer. Dès l'instant que l'interdiction d'exploiter n'est plus motivée par la sûreté publique, la servitude qui lui était imposée, à ce titre, cesse de produire effet; il pourra à nouveau porter ses travaux dans la région autrefois interdite sous les mêmes conditions que dans toute autre partie de sa concession.

Quelle que soit l'indemnité qui lui ait été donnée par le concessionnaire du chemin de fer, il est évident d'ailleurs qu'il ne pourra pas y avoir lieu à répétition en faveur de celui-ci, quand bien même, par suite de circonstances tout à fait exceptionnelles, l'interdiction d'exploiter n'aurait été que de courte durée, alors, au contraire, que l'indemnité eût été allouée dans la prévision qu'elle pouvait être d'une durée indéfinie. Le juge qui règle l'indemnité, quel qu'il soit, devra tenir compte de toutes les circonstances qui peuvent survenir et notamment de l'aléa que peut présenter la durée de l'interdiction, de façon à ce que la réparation du préjudice soit faite aussi équitatablement que les prévisions humaines, qui ne sont pas infaillibles, peuvent le permettre.

Il n'en est pas tout à fait de même pour le redevancier. Il faudrait rechercher, en ce qui le concerne, s'il a reçu une indemnité pour une véritable « dépossession définitive » ou simplement une indemnité calculée, comme dans l'affaire Ogier et Larderet, en tenant compte de l'éventualité possible d'une rentrée en possession ultérieure. Dans ce dernier cas, nulle difficulté : il en serait du redevancier comme du concessionnaire de la mine; chacun d'eux rentrerait en même temps dans la jouissance et la libre disposition de leurs droits respectifs comme avant l'établissement du chemin de fer. Si l'on admettait, au contraire, que le redevancier tréfoncier a touché une indemnité de « dépossession définitive », la seule, à notre avis, qu'il soit en droit de réclamer et de recevoir, ce serait le con-

cessionnaire du chemin de fer qui devrait jouir désormais de la redevance tréfoncière au même titre et dans les mêmes conditions que le redevancier primitif dépossédé. Il ne paraît pas qu'une sérieuse difficulté puisse s'élever entre le concessionnaire du chemin de fer et l'Etat même dans le cas où le sol de la voie ferrée déclassée ferait retour à celui-ci. Avec la jurisprudence actuellement suivie par le Conseil d'État sur cette question, la difficulté serait tranchée en faveur du concessionnaire du chemin de fer; le droit à la redevance tréfoncière serait considéré comme distinct et séparé du droit de propriété du sol et comme ayant été acquis séparément, à titre définitif, par le concessionnaire du chemin de fer.

RAPPORT
FAIT AU NOM DE LA COMMISSION
CHARGÉE
PAR M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
D'ÉTUDIER LES QUESTIONS CONCERNANT

LA RUPTURE DES CABLES DE MINES

Par M. L. AGUILLON, ingénieur des mines.

PRÉAMBULE

Objet du rapport. — L'attention de M. le ministre des travaux publics ayant été attirée sur plusieurs ruptures subites survenues à des câbles métalliques employés au service de l'extraction dans les mines, ruptures dont plusieurs avaient entraîné mort d'homme, M. le ministre chargea, à la date du 31 mai 1878, une commission spéciale (*) d'étudier tout ce qui est relatif à cette question et plus généralement aux conditions de sécurité de l'emploi des câbles métalliques par lesquels le personnel peut être appelé à circuler.

La commission pensa que, sans sortir de l'étude de la sécurité dans l'emploi des câbles métalliques, qui devait

(*) Cette commission était primitivement composée de MM. Couche, inspecteur général des mines, *président*; Lan, Haton de la Goupillière, Hanet-Cléry, ingénieurs en chef des mines; Aguillon, ingénieur des mines, *secrétaire-rapporteur*. M. Couche décédé a a été remplacé par M. Tournaire, inspecteur général des mines; M. Hanet-Cléry n'a pas été remplacé.

uniquement la préoccuper, il était utile d'étendre son examen sur tous les câbles employés dans les mines.

C'est dans cet ordre d'idées qu'elle rédigea tout d'abord un questionnaire, qui fut transmis, avec la circulaire ministérielle du 16 août 1878, aux ingénieurs des mines, aux exploitants de mines et aux fabricants de câbles.

L'enquête fut ouverte sur les câbles de toute nature destinés à tous les usages des mines.

Après avoir fait dépouiller les résultats de cette volumineuse enquête (*), les avoir soigneusement examinés et comparés les uns avec les autres, la commission a été amenée à penser qu'il serait utile d'étendre une pareille enquête dans les mines de l'étranger. Elle résolut, à cet effet, de profiter de la mission que la commission du grisou envoyait dans les bassins houillers de Belgique, d'Angleterre et d'Allemagne, pour faire recueillir en même temps tous les renseignements intéressants sur l'emploi des câbles.

Après avoir examiné et discuté les documents provenant de cette source et en avoir rapproché les enseignements de ceux résultant de l'enquête faite en France, il ne restait à la commission, pour arrêter son travail, qu'à faire consigner les résultats de ces études dans un rapport général. Elle a fait l'honneur de confier la rédaction de ce document à son secrétaire, qui avait été l'un des deux ingénieurs chargés de la mission envoyée à l'étranger par la commission du grisou.

Division et nature du rapport. — La division du présent

(*) L'administration a, en outre, transmis successivement à la commission les rapports et procès-verbaux relatifs à tous les accidents survenus dans les mines par des ruptures de câbles de 1878 à 1881. Les documents sur ces accidents, au nombre de 10, ont été utilisés pour le travail de la commission.

La circulaire du 16 août 1878 et le questionnaire ont été insérés aux *Annales*, partie administrative, volume de 1878, p. 282-284.

rapport se trouvait tout naturellement indiquée par l'ordre suivi par la commission dans ses travaux.

On a exposé dans une première partie tous les faits relatifs à la France : c'est en quelque sorte le résumé méthodique des résultats de l'enquête. On s'est efforcé de faire ressortir les points acquis, dans cette question, par les faits de la pratique industrielle et ceux qui restent controversés : on a voulu, en un mot, présenter l'état de la science industrielle en France sur cette question.

La seconde partie est l'exposé des faits les plus intéressants relatifs à la Belgique, l'Angleterre et l'Allemagne, qu ont été recueillis à l'étranger, dans sa mission, pa M. Aguillon; c'est en quelque sorte la continuation de l'enquête portée à l'étranger. En rapprochant cette seconde partie de la première, on a voulu faciliter la comparaison des points sur lesquels la science industrielle était d'accord chez nous et à l'étranger, et ceux au contraire sur lesquels elle pouvait différer.

La troisième partie renferme, sous forme de résumé, les conclusions pratiques auxquelles a paru conduire l'exposé des faits présentés comme il vient d'être dit dans les deux premières parties.

Observation. — La commission croit nécessaire de rappeler à la fin de ce préambule que, fidèle au programme qui lui avait été tracé par M. le ministre, elle s'est préoccupée surtout de la question de sécurité dans l'emploi des câbles et subsidiairement de la question d'économie, lorsque les deux questions se confondaient d'elles-mêmes ou ne pouvaient pas être séparées.

PREMIÈRE PARTIE

CÂBLES EMPLOYÉS EN FRANCE

Division de la première partie. — Bien que le questionnaire ait fait une distinction entre les câbles employés à l'extraction, aux guidages, sur les plans inclinés, dans le trainage mécanique et dans les transports aériens, il a paru à la commission qu'il serait sans intérêt de maintenir une division aussi tranchée dans son rapport. On ne s'occupera spécialement que des câbles d'extraction ; pour ceux employés aux autres usages, il suffira, à la suite des premiers, d'en parler très brièvement pour signaler, le cas échéant, les quelques différences qui peuvent résulter de ces différences d'emploi.

Après un exposé statistique sommaire des diverses natures de câles employés actuellement dans les mines, on traitera successivement et séparément des câbles en textiles, des câbles en fer et des câbles en acier. On terminera par quelques observations générales qui se rapportent à tous les câbles, quelle que soit leur nature.

§ 1.

Aperçu statistique sur les diverses espèces de câbles employés à l'extraction en France.

Les renseignements statistiques fournis par l'enquête, pour les diverses mines de France, n'ont en réalité donné aucune indication sérieuse ou de réelle utilité, en ce qui concerne les avantages ou inconvénients comparatifs des diverses espèces de câbles et les conditions dans lesquelles

il conviendrait d'employer telle nature de câble plutôt que telle autre. On entend donc se borner à donner sur ce sujet quelques renseignements purement statistiques.

Dans l'ensemble, on doit signaler, tout d'abord, l'usage prédominant des câbles en textiles dans les mines du Nord et de l'Est et des câbles métalliques au contraire dans les mines de l'Ouest et du Midi.

Si l'on passe rapidement en revue les principaux bassins ou groupes de mines, on peut noter les faits suivants :

Dans le bassin houiller de Valenciennes, la compagnie des mines d'Anzin est la seule qui emploie uniquement pour tous ses puits des câbles métalliques plats. Dans les autres compagnies on n'en trouve qu'à quelques fosses, comme à Douchy, Fresnes-Midi, Hardinghen et Liévin. Partout ailleurs les puits sont munis de câbles d'aloès plats.

Dans le bassin de la Loire, quelques compagnies (Montrambert, Saint-Étienne, Villebœuf et Montieux) emploient exclusivement les câbles plats en textiles, soit en aloès, soit en chanvre. Ailleurs on fait usage concurremment de câbles plats en textiles et de câbles métalliques, plats ou ronds.

Dans le bassin houiller du Gard, où une partie seulement de l'extraction se fait par puits, les câbles métalliques ronds dominent.

En Saône-et-Loire, la compagnie des mines du Creusot a seule trois puits armés de câbles métalliques : tous les autres sont munis de câbles plats en textiles.

Dans l'Allier, les câbles plats en aloès se rencontrent dans les dix-huit puits les plus importants et les plus récents, et les câbles métalliques, généralement ronds, sur huit puits seulement.

Dans l'Aveyron, où l'exploitation par puits n'a qu'une minime importance, on emploie concurremment les câbles plats en aloès avec les câbles en fils de fer ronds et plats.

Les autres bassins houillers secondaires ont leurs puits, les uns armés exclusivement de câbles en textiles (Decize, Ronchamp, Carmaux, Prades), les autres de câbles métalliques (Brassac, Ahun, Langeac); d'autres enfin des deux espèces (Fuveau, Graissessac, Saint-Éloi, bassins de l'Ouest).

Les mines de fer et les mines métalliques emploient généralement les câbles métalliques ronds. Toutefois, dans les bassins ferrifères de l'Ardèche l'on emploie exclusivement les câbles en textiles. Il en est de même aux mines de pyrite de Saint-Bel, tandis que les mines de pyrite du Gard emploient concurremment les deux espèces.

Les salines de l'Est et celles des Pyrénées n'emploient que les câbles en textiles.

Parmi les câbles métalliques, on n'en a signalé en fils d'acier en 1879 qu'aux neuf puits suivants : 1° et 2° fosses Renard n° 1 et n° 2 de la compagnie d'Anzin; 3° fosse n° 5 de Liévin (Pas-de-Calais); 4° puits Saint-Pierre du Creusot (*); 5° l'un des puits des mines de Portes et Sénéchas (Gard); 6° et 7° puits de Basse-Combelle et puits neuf à Brassac; 8° l'un des puits des mines de Pontpéan; 9° puits Saint-Vincent de Montchanin (**) (en fonçage). Les cinq premiers de ces puits ont des câbles plats; les autres des câbles ronds.

Des câbles en acier sont relativement plus fréquemment employés sur les plans inclinés.

Tous les câbles en fils de fer sont en fils de fer clairs; les mines de Beaubrun ont seules employé autrefois des fils de fer recuits.

Des câbles en fils de fer galvanisés ne sont employés

(*) Un seul des câbles de ce puits est en acier; l'autre est en fer.

(**) Une note détaillée sur le câble décroissant de ce puits a été publiée dans le *Compte rendu mensuel de la Société de l'industrie minérale*.

qu'aux mines de plomb de Pontpéan (Ille-et-Vilaine), à celle de Montnebout (Puy-de-Dôme) et par la compagnie de Saint-Étienne pour le service du fonçage seulement.

§ 2.

Des câbles en textiles.

Fabrication. — On n'a présenté d'observations ayant quelque intérêt que sur le mode de couture des câbles en textiles.

Dans quelques mines on a recommandé comme préférable, pour les câbles en aloès, la couture en aloès non goudronné ; la couture en fil de fer a été signalée comme fâcheuse à cause de la trop grande rigidité qu'elle donne aux câbles et de la difficulté qui en résulte pour les réparations.

Il est pour ainsi dire oiseux de rappeler que la couture doit être faite avec un soin tout particulier. On a signalé une rupture subite d'un câble en aloès plat, encore en bon état dans son ensemble, attribuée à ce que la couture avait été mal faite; les aiguilles au lieu d'écarter les fils en avaient arraché une partie.

On sait qu'aujourd'hui la plupart des grands fabricants de câbles sont outillés de façon à pouvoir livrer des câbles en aloès, particulièrement des câbles plats, qui se rapprochent très sensiblement de la décroissance théorique. Ce résultat est relativement facile à obtenir avec les câbles en textiles dont l'élément primitif qui les constitue, *le fil de caret*, est réuni en plus grand nombre dans un toron que le fil métallique qui est l'élément correspondant de la constitution du câble métallique.

L'usage de ces câbles à décroissance plus ou moins continue est cependant assez rare en France où généralement les câbles décroissants sont formés de parties successives,

de longueur variant entre 75 et 200 mètres, le câble ayant des dimensions uniformes dans chacune de ses parties. Diverses formules ont cours pour calculer les variations de composition d'un câble ainsi composé : la question a plus d'intérêt au point de vue économique qu'à celui de la sécurité.

Résistance à la rupture par traction. — Les fabricants de câbles et les exploitants de mines admettent généralement en France, pour le chanvre et l'aloès goudronnés, une résistance à la rupture par traction de 550 à 650 kilog. par centim. carré ou encore de 5.500 à 6.500 fois le poids du mètre courant, en supposant que la densité est de 1 (*). En réalité le poids d'un mètre de longueur de câble en aloès est d'environ $0^k,10$ par centimètre carré quand le fil est goudronné et de $0^k,08$ quand il ne l'est pas.

Callon n'a indiqué au contraire qu'une résistance de 400 kilog. par centimètre carré.

Plusieurs résultats d'expériences récentes communiquées à la commission confirmeraient le chiffre de Callon, tandis que d'autres justifieraient les chiffres plus élevés ci-dessus rappelés.

Ainsi, tandis que des expériences faites dans le Nord sur des câbles en aloès plats et ronds ont indiqué des résistances de 690 pour les premiers et de 735 kilog. pour les seconds, par centim. carré, des expériences analogues faites au Creusot ont donné des résistances de 420 à 390 kilog. pour le chanvre et de 369 à 429 pour l'aloès.

Ces différences paraissent devoir être attribuées à un choix plus ou moins sévère de la matière employée et aux soins apportés dans la fabrication.

(*) Plusieurs exploitants ont justement relevé les inconvénients de ce mode d'évaluation au poids, celui-ci pouvant varier d'après la quantité de goudron et d'humidité absorbée par le câble.

Charge de travail. — La charge de travail la plus généralement admise est de 75 kilog. par centimètre carré de section apparente. Quelques mines la réduisent à 70 kilog. pour les câbles plats, tandis que d'autres les font travailler jusqu'à 90 et même 100 kilog. Dans ces mines on admet comme règle qu'on peut charger le câble de 1.000 fois son poids par mètre courant ou d'autant de tonnes que le câble pèse de kilog. par mètre courant. Ces fortes charges de travail sont déterminées en supposant pour l'aloès une charge de rupture de 650 kilog. par centimètre carré et un coefficient de 1/6 à 1/7.

Il n'échappera pas que ce coefficient de 1/6 conduit à des charges de travail bien fortes eu égard à la charge de rupture, surtout s'il s'agit de faire circuler des ouvriers par de pareils câbles.

Fatigue due à l'enroulement. — Diamètre d'enroulement minimum. — La question du diamètre minimum sous lequel doit s'enrouler un câble de composition donnée n'a pas la même importance pour les câbles en textiles que pour les câbles métalliques. En tous cas elle a été encore moins étudiée pour ceux-là que pour ceux-ci.

Reuleaux, dans le *Constructeur*, a indiqué 25 comme rapport minimum entre le diamètre de la poulie et celui d'un câble rond en textiles.

Certaines mines ont indiqué 40 et d'autres 80 comme rapport convenable entre le diamètre d'enroulement et le diamètre du câble rond ou l'épaisseur du câble plat.

Angle des deux brins. — On s'accorde généralement à reconnaître que cette question n'a qu'un intérêt très secondaire pour les câbles en textiles, et il n'a été cité aucun fait bien probant trancher la controverse qui subsiste sur cette question. La majorité des exploitants et des fabricants estime que l'angle des deux brins ne doit pas être

trop faible ; mais les uns pensent qu'il ne doit pas être inférieur à 40°, tandis que les autres ne voudraient pas qu'il dépassât 60°.

Influence du double enroulement sur la durée du câble en dessous. — Cette question reste également fort controversée ; comme pour la précédente d'ailleurs, elle a plus d'intérêt pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles. Peu de mines ont reconnu une différence dans la durée des câbles due réellement au fait du double enroulement. Dans quelques-unes au contraire on a signalé des différences de durée attribuables à ce fait allant jusqu'à 20 et 37 p. 100 (*).

Modifications amenées par le service. — Lors de la mise en service, les câbles plats en aloès faits en bonne matière s'allongent dans les huit à dix premiers jours d'une quantité évaluée, suivant les mines, de 4 à 6 p. 100 ; ils conservent ensuite leur longueur tant qu'ils restent dans un état normal. Lorsque le câble commence à se fatiguer, il s'effiloche, les fils se brisent notamment dans les aussières latérales et le câble s'amincit particulièrement à l'enlevage, c'est-à-dire dans la partie qui avoisine les molettes. En outre la couture tend à se défaire. Si l'on coupe alors un morceau de câble à la patte, on voit que les fibres qui étaient bien résistantes au début sont dures et se cassent très facilement à la main, la masse entière se ramollit ; finalement le câble s'allonge subitement d'une quantité qui a été indiquée comme pouvant aller jusqu'à 2 p. 100 en douze heures. Ces derniers symptômes sont ceux d'une rupture tellement imminente qu'on ne doit jamais les attendre ; les autres signes indicateurs précédemment donnés suffisent pour apprendre qu'il y a lieu de changer le câble sans retard.

(*) Voir, p. 31, *Suppression du double enroulement.*

Ainsi le câble en textiles finit par subir à la longue une altération de la matière, diminuant sa résistance à la rupture jusqu'à la rendre pour ainsi dire nulle, puisque le câble finirait par céder sous son propre poids.

Quelques expériences ont été faites au Creusot pour rechercher quelle pouvait être la diminution successive exacte de la résistance à la rupture avec le temps. Ces expériences, qui ont été d'ailleurs très sommaires, ont porté sur un câble rond en chanvre fabriqué à la main de 28 à 29 millim. de diamètre. Le câble neuf avait rompu sous une charge de 300 kilog. par centimètre carré ; après quinze jours de travail sous une charge de 270 kilog. ; après trois mois sous une charge de 200 kilog.

Mode d'attache des câbles. — Les modes d'attache pour les câbles ronds comme pour les câbles plats rentrent tous dans deux genres principaux.

On replie le câble sur lui-même avec ou sans interposition de croupières en fer dans la partie formant boucle et les deux parties du câble sont fixées l'une à l'autre par des rivets, des clous ou des ligatures; ou bien on saisit son extrémité dans une patte ou emmanchement en fer dit moufle, main, manche, anneau à étui, etc.

L'attache par repliement sur croupière paraît la plus usitée pour les câbles ronds.

Pour les câbles plats au contraire l'attache par patte en fer est la plus répandue.

Aux charbonnages des Bouches-du-Rhône, la patte, au lieu d'être faite en fer, est formée par un bout détaché du câble replié en U.

Quelques mines recommandent l'emploi de rivets en cuivre pour assujettir l'une sur l'autre les deux parties repliées du câble.

On recommande aussi de placer les rivets au milieu des aussières et non entre elles pour ne pas déchirer la couture.

Les mines de Courrières ont signalé sept ruptures survenues, de 1861 à 1878, à l'attache de leurs câbles plats en aloès avec le mode par simple rapprochement ; ces ruptures ne se sont plus représentées avec l'attache par patte ou chape en fer.

Ressorts de suspension. — Beaucoup d'exploitants pensent que l'emploi de ressorts spéciaux pour amortir les chocs au démarrage sont inutiles avec les câbles en textiles suffisamment élastiques par eux-mêmes.

La plupart de ceux qui reconnaissent l'utilité d'un pareil artifice se contentent du ressort du parachute quand leurs cages en sont munies.

On rencontre dans très peu de mines l'emploi de ressorts spéciaux, soit des rondelles de caoutchouc enfilées sur la tige qui réunit la cage à l'anneau de suspension, soit des ressorts à boudin, soit des ressorts de voitures. Mais généralement ces ressorts spéciaux ne sont employés que lorsqu'on marche à l'épuisement par bennes et par conséquent sans parachutes.

Des épissures. — Les seules épissures qui puissent être admises sont celles faites par le procédé qui consiste à décâbler les deux parties à réunir sur une longueur qui varie de 1^m,50 à 6 mètres et à les recâbler l'une avec l'autre. Ces épissures, pour donner une suffisante garantie, doivent être faites par des ouvriers expérimentés et avec un outillage approprié ; les épissures ne doivent d'ailleurs être faites que pour réunir deux parties de câbles en bon état et pour faire disparaître une partie qui a souffert de blessures accidentelles.

Les épissures faites par agrafes ou pattes en fer placées à l'extrémité des deux parties à réunir ou encore celles faites en superposant l'une sur l'autre les deux parties et en les assujettissant par une ligature ne présentent pas les

mêmes garanties. Elles donnent au câble dans la partie épissée une raideur qui est de nature à occasionner une fatigue exceptionnelle en ces points et à provoquer des ruptures inopinées comme l'ont montré de nombreux exemples.

Si bien faite qu'ait été l'épissure, un câble épissé ne vaut jamais un câble neuf : on doit se tenir plus particulièrement en garde, surtout s'il doit servir à la circulation des hommes, et on s'explique très rationnellement que certaines mines interdisent systématiquement toute circulation de personnel par un câble épissé.

Entretien des câbles. — Le chanvre ne doit être employé que dans les puits secs; il se comporte mal dans l'humidité. Il doit être graissé de temps à autre avec du suif fondu et bouillant employé seul ou avec du suif mélangé d'huile ou de saindoux additionné parfois de goudron végétal.

L'aloès se trouve au contraire indiqué d'une façon toute spéciale pour les puits humides. Il pourra s'y passer de toute espèce d'entretien. Dans un puits un peu sec ou dans le cours de l'été il convient de l'arroser. Plusieurs mines l'humectent d'une façon continue par un petit jet d'eau placé entre les bobines et les molettes et qu'on n'arrête en cas de gelée seulement. On a remarqué dans certaines mines que des câbles en aloès qui ne duraient autrefois que quinze mois durent aujourd'hui, toutes choses égales d'ailleurs, vingt-deux mois par le seul fait de l'arrosage fréquent qui n'était pas pratiqué auparavant. Quelques mines graissent cependant l'aloès comme le chanvre.

Pour éviter les effets de la gelée sur les câbles en textiles on les a chauffés parfois en les faisant passer au-dessus d'un foyer placé en avant des bobines.

Coupage de la patte. — Le coupage des câbles à la

patte a un double objet : enlever la partie inférieure du câble qui est exposée à s'user davantage par repliement et frottement ; changer le point d'appui sur les molettes où le câble fatigue exceptionnellement par suite du *coup de fouet* ou du *coup de molette* au démarrage.

Pour que cette opération produise un bon résultat il va de soi qu'il ne faut pas attendre que le câble soit déjà trop fatigué sur les molettes.

Aussi certains fabricants recommandent-ils d'enlever 1 à 2 mètres par quinzaine dans le premier tiers de la durée moyenne d'un câble ; 1 à 3 mètres par quinzaine dans le deuxième tiers ; 2 à 5 mètres par semaine dans le troisième tiers.

En fait, le coupage à la patte est assez généralement pratiqué dans la plupart des mines, avec plus ou moins de méthode suivant les districts.

Quelques mines pratiquent à de plus longs intervalles, tous les six ou huit mois, des coupages beaucoup plus importants, ici de 20 mètres, là de 40 à 50 mètres, dans le but précisément de changer plus radicalement le point d'appui sur les molettes.

Retournement du câble. — Le retournement du câble bout par bout, qui n'est évidemment possible qu'avec des câbles de section uniforme, est très rarement pratiqué.

Quant au retournement de face on n'y a recours qu'exceptionnellement lorsqu'un câble s'enroule mal d'un côté. Il n'échappera pas que cette pratique revient à faire travailler le câble dans les conditions du câble en dessous qui est soumis à ce double enroulement plus ou moins vivement critiqué.

Passage d'une molette à l'autre. — Sauf les cas exceptionnels où l'on a recours à cette pratique pour un câble qui s'enroule mal, elle est très rarement usitée. Quelque

mines, en très petit nombre, ont cependant l'habitude de faire faire à un câble moitié de son service en s'enroulant en dessous et moitié en s'enroulant par-dessus.

Travail et durée des câbles. — La durée d'un câble et le travail effectué par lui dépendent de trop d'éléments pour que la comparaison des résultats indiqués par les diverses mines puisse conduire à quelque conclusion utile. Il n'est guère possible notamment d'apprécier dans chaque cas l'influence respective des divers éléments dont il y aurait lieu de tenir compte : mode d'installation, diamètre d'enroulement, angle des brins, etc..., sans parler des défauts possibles du montage; il faudrait aussi tenir compte des conditions spéciales du puits, suivant qu'il sert à l'entrée ou à la sortie d'air, à l'épuisement, etc.

D'autre part, le travail utile effectué par le câble évalué en kilogrammètres augmente, toutes choses égales d'ailleurs, avec la profondeur des puits, sans que cette augmentation corresponde en réalité à une plus grande fatigue subie par le câble.

Enfin on ne s'entend pas toujours très bien sur la mesure du travail d'un câble, voire même sur ce que l'on nomme le *travail utile*, dans lequel on ne compte pas toujours tout ce qui devrait normalement y figurer, comme ascension de remblais, eau, matériel, hommes. Certains exploitants pensent d'ailleurs que ce n'est pas seulement le *travail utile* qu'il faut considérer, mais bien le *travail total* au petit bout du câble, c'est-à-dire le travail nécessaire pour élever la charge utile et le poids mort. Le rapport entre ces deux quantités varie en effet suivant les mines et les dispositions adoptées, de 1 à 2, en sorte que à un même *travail utile* de 1 correspondrait, suivant les mines, un *travail total* de 2 à 3.

Il n'est donc possible de donner sur ce sujet, malgré toute son importance, que des indications assez vagues.

On admet que le *travail utile* d'un bon câble en aloès convenablement établi, est compris entre 200.000 et 300.000 tonnes élevées à 100 mètres; on dépasse assez souvent 300.000 tonnes; le chiffre de 400.000 tonnes est plus rarement atteint; quelques mines cependant ont mentionné un travail utile de 500.000 tonnes à 100 mètres.

En dehors des câbles placés dans les retours d'air on a indiqué comme durée assez habituelle d'un câble 10 à 12 mois au minimum et 24 à 30 mois au maximum. Dans les grandes installations et pour les services importants le chiffre de 18 mois paraît correspondre sensiblement à la moyenne.

Le plus généralement on ne remplace un câble, toute question d'avaries ou d'accidents mise à part, que lorsque son examen montre qu'il approche du terme de sa durée, c'est-à-dire lorsqu'il présente les caractères que l'on a fait connaître ci-dessus. Quelques mines cependant mettent un câble hors de service, nonobstant son état, lorsqu'il a atteint une certaine durée ou lorsqu'il a fait un certain service, durée et service qui varient naturellement d'une mine à l'autre, suivant les conditions d'emploi du câble.

Ruptures en service. — Les ruptures en service d'un réel intérêt sont celles survenant inopinément à des câbles dont l'apparence générale était telle qu'ils paraissaient être en bon état et aptes à faire plus ou moins longtemps encore un bon service. Il y a lieu évidemment d'écarter, comme dénuées d'intérêt dans une pareille étude, deux sortes de ruptures de câbles : 1° celles d'un câble que l'on savait être absolument usé et que pour une raison ou pour une autre on n'avait pas pu ou pas voulu remplacer; 2° celles résultant d'accidents exceptionnels ou anormaux dans lesquels le câble a eu à subir un effort, pour lequel il n'était évidemment pas établi, comme lors d'une mise aux molettes ou d'un calage des cages dans le puits.

En écartant les ruptures dues d'une façon certaine à ces causes, il reste 31 ruptures subites qui ont été mentionnées par l'enquête comme survenues à des câbles en textiles en service; sur ce nombre il y a 30 câbles plats en aloès et 1 rond en chanvre. Ce n'est là évidemment qu'une portion des ruptures qui ont dû survenir; le souvenir de toutes celles un peu anciennes a dû être perdu, alors surtout qu'elles n'ont pas été suivies d'accidents de personnes.

Sur ces 31 ruptures, 17 ont été indiquées comme ayant eu lieu en pleine corde; mais une d'entre elles a eu lieu près d'une épissure à charnière; quatre autres sont survenues à des épissures; dans 8 autres cas la patte du câble a été arrachée, et enfin pour les 2 ruptures restantes, il n'a été donné aucun renseignement.

Sur les 21 ruptures survenues en pleine corde ou dans des épissures, 10 ont été indiquées comme ayant eu lieu sur la molette au moment du démarrage, 2 pendant l'ascension; 3 pendant la descente; pour les 6 autres, il n'a pas été donné de renseignements.

Sur les 17 ruptures en pleine corde, la rupture a été, dans 4 cas, attribuée à une mauvaise fabrication, notamment à une couture mal faite, qui avait déchiré le câble ou qui avait lâché, et dans 1 cas (rupture à l'ascension) à une mauvaise qualité de la matière au point de rupture. Dans les 12 autres cas, la cause de la rupture est restée douteuse ou inconnue; toutefois on a assez fréquemment pensé que le démarrage avait été trop brusque. Dans un de ces cas, on a présumé que la cage descendante avait été arrêtée par la glace et qu'elle était ensuite retombée occasionnant un choc.

Dans les autres épissures qui ont rompu, 2 étaient des épissures par décâblage et recâblage mal exécutés; une avait été faite en superposant les 2 bouts de câbles et en les reliant par des plaques rivées; dans la dernière, on

avait réuni les deux tronçons par des pattes à charnière. Dans ces deux derniers cas, la rupture a eu lieu au passage de l'épissure sur la molette.

Sur les 8 cas où la patte a cédé, il y en avait 7 où l'attache était faite par le repliement du câble sur lui-même. Le huitième cas est relatif à un câble rond en chanvre dont la matière avait été échauffée par la rouille dans une partie de la boucle d'attache.

Tout incomplets qu'aient été les renseignements obtenus sur ces ruptures, il semble cependant en ressortir que les câbles en textiles ne sont pas absolument à l'abri de ces ruptures plus ou moins inopinées analogues à celles plus habituellement attribuées aux câbles métalliques.

§ 3.

Câbles en fer.

Des fils entrant dans la composition des câbles. — On n'emploie guère en France pour les câbles destinés à l'extraction par puits ou au roulage sur plans inclinés que des fils de fer clairs. Il n'a été fait que quelques essais de fil de fer galvanisés. Quant aux fils recuits, ils n'ont jamais été employés que pour la couture des câbles plats.

Fils de fer clairs. — Les fils de fer clairs, qui entrent dans la composition des câbles, sont compris entre les nos 12 (diam. = 1mm,5) à 18 (diam. = 3mm,4) de la jauge de Paris pour les câbles ronds et entre les nos 13 (diam. = 2 millim.) à 15 (diam. = 2mm,4) pour les câbles plats; pour ces derniers, le no 14 (diam. = 2mm,2) est le fil de beaucoup le plus fréquemment employé en France.

Tous les fils de fer employés en France proviennent de la Franche-Comté ou du Berry. Quelques fabricants attribuent une supériorité à ceux de cette provenance parce

qu'ils seraient plus durs. Il est constant que la dureté est une qualité à rechercher dans les fils de fer pour câbles, qui leur permet de mieux résister à l'usure et à la déformation extérieure.

Des renseignements fournis de divers côtés, il résulte que les fils, réputés de meilleure qualité, ayant fait un bon service dans la fabrication des câbles, ont des résistances et des allongements à la rupture peu différents, qu'ils soient de l'une ou de l'autre des deux provenances précitées.

La résistance à la rupture, dans les bons fils de fabrication courante de ces deux provenances, varie, suivant le numéro des fils, entre 70 à 75 kilog. pour le n° 12 (diam. $= 1^{mm},5$) et 55 à 60 pour le n° 18 (diam. $= 3^{mm},4$). Les allongements à la rupture, mesurés sur échantillons de 200 ou 250 millim. de longueur, sont habituellement de 1/2 à 1 p. 100.

Il a été fait très peu d'essais méthodiques sur la flexibilité des fils, constatée par le nombre de pliages, à 90 degrés ou à 180 degrés, nécessaire pour produire la rupture des fils (*). Pour le fil n° 14 ($2^{m},2$), qui est le plus employé, on a indiqué moyennement de 15 à 16 pliages à 90 degrés dans un étau à mâchoires arrondies sur 5 millimètres de rayon.

Les seuls essais à la torsion dont il ait été fait mention se trouvent dans un travail récent de M. Garcenot, ingénieur à Anzin (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IX, p. 78 et suiv.) Ces essais ont porté sur des fils n° 14 de Comté.

(*) Pour que les résultats de ces essais soient comparables entre eux, on sait qu'il importe que l'étau dans lequel ils se font soit identique. Le nombre des pliages, pour un même fil, varie dans des proportions considérables suivant qu'on opère avec une mâchoire à vives arêtes ou à angles arrondis sur un certain rayon. L'usage le plus général est de prendre comme type des mâchoires arrondies à 5 millim. de rayon.

Fils de fer galvanisés. — La galvanisation des fils de fer constitue un véritable recuit qui tend à diminuer l'écrouissage produit par le passage à la filière. Les fils de fer galvanisés sont donc, toutes choses égales d'ailleurs, plus doux que les fils clairs, c'est-à-dire qu'ils présentent à la rupture moins de résistance, mais plus d'allongement.

Ce n'est que pour mémoire jusqu'ici que l'on peut citer l'usage de ces fils pour les câbles de mines, comme l'indiquent les renseignements fournis dans l'aperçu statistique du § 1er.

Il est assez curieux de remarquer, au contraire, que la marine nationale emploie systématiquement pour ses cordages et câbles d'amarrage des fils de fer galvanisés. Les câbles ronds de la marine nationale sont composés, suivant leur grosseur, avec des fils du n° 4 (diam. = $0^{mm},9$) au n° 19 3/5 (diam. = $4^{mm},2$). D'après de très nombreux essais faits pendant plusieurs années sur les fils qui ont servi à la composition de ces câbles, leur résistance moyenne à la rupture aurait été de 45 kilog. par millimètre carré et l'allongement à la rupture de 8 à 9 p. 100 en moyenne.

Composition des câbles ronds. — Les câbles ronds employés dans les mines appartiennent à deux types principaux, suivant que le toron est formé d'une seule enveloppe de fils ou de deux enveloppes concentriques. Dans le premier type, qui est le plus fréquent, le nombre des fils par toron varie de 6 à 8 et va à 9 dans le district de Rive-de-Gier; dans le second type, qui est plus appliqué pour les fortes dimensions, il est généralement de 18 à 23. Dans l'un comme dans l'autre type, le nombre des torons est de 5 à 8, sauf dans le district de Rive-de-Gier, où il est plus habituellement de 9.

Il y a généralement une âme en chanvre goudronné, tant dans le toron que dans le câble. Parfois cependant l'âme du toron est formée par un fil métallique d'un nu-

méro égal ou plus fort que celui des autres. Les opinions sont partagées sur les avantages et les inconvénients de ces deux systèmes, sans que des faits suffisamment probants puissent permettre de trancher la question.

On n'a donné aucune règle bien précise pour la détermination du pas des hélices formées par les fils dans les torons et pour celui des hélices formées par les torons dans le câble.

Certains fabricants ont indiqué comme moyenne une longueur de spire du fil dans le toron de 12 fois le diamètre de celui-ci, et du toron dans le câble de 8 fois le diamètre de ce dernier : ce qui fait pour pas des hélices 3, 4 et 2,5. La commission des ardoisières d'Angers donne la longueur de spire, dans l'un et l'autre cas, comme étant de 8 fois le diamètre, soit le pas de l'hélice de 2,5.

La marine nationale a réglé ainsi qu'il suit ces données dans son dernier cahier des charges pour câbles ronds. L'hélice des fils dans les torons doit avoir un pas de 3 dans les câbles au-dessus de 24 millim. et de 2,5 dans les câbles d'un diamètre supérieur ; l'hélice formée par le toron dans le câble doit avoir pour tous les câbles un pas de 2,5.

Il n'a du reste été produit aucune observation motivée sur l'influence que les différents éléments de la composition d'un câble peuvent avoir sur sa durée et son service.

Câbles plats. — Les câbles plats ont 4, 6 ou 8 aussières, généralement de 4 torons, mais quelquefois aussi de 6. Les torons ont de 6 à 11 fils.

Peu de renseignements ont été donnés sur la dimension du pas des hélices d'enroulement des fils ou des torons. Certains exploitants ont indiqué une longueur de spire, tant du fil dans le toron que du toron dans l'aussière, de 16 fois le diamètre, soit du toron, soit de l'aussière, c'est-à-dire un pas d'hélice de 5.

La couture doit toujours être faite en fils recuits que l'on emploie souvent galvanisés.

La double couture, préconisée par certains fabricants, est au contraire condamnée par plusieurs exploitants comme étant une cause de très grande fatigue dans les câbles aux points où les fils des deux coutures se croisent.

On sait qu'une des critiques les plus grandes faites à l'emploi des câbles plats est le danger qu'ils peuvent présenter par suite de l'inégale tension et en conséquence de l'inégal travail des aussières, si les aussières sont mal réunies.

Certains fabricants pensent que l'on peut faire disparaître ces défauts en ayant soin de faire la couture du câble sous tension. A cet effet la partie du câble cousue doit être mise en tension, tout comme chacune des aussières individuellement dans la partie non encore cousue. La tension à donner au câble doit être égale à celle de la charge maximum sous laquelle il doit travailler, et celle de chaque aussière dans la partie non cousue doit être la fraction de cette tension correspondant au nombre d'aussières. Ces conditions peuvent être aisément réalisées, comme on le conçoit, en munissant de poids appropriés les rouleaux sur lesquels se déroulent aussières et câbles. Si le câble est à section décroissante, il va de soi qu'à chaque section on devra faire agir des poids appropriés.

Câbles décroissants. — On n'a pas signalé l'emploi de câbles en fer ronds décroissants.

Les câbles plats à section décroissante sont au contraire assez généralement employés dès que la profondeur dépasse 200 mètres. Les longueurs partielles d'éléments semblables, déterminées par les formules bien connues qui sont plus importantes au point de vue de l'économie qu'au point de vue de la sécurité, varient dans d'assez grandes limites : on n'en trouve pas au-dessous de 75 mètres ; elles s'élèvent parfois à 150 et même 200 mètres.

Résistance d'un câble comparée à la somme des résistances des fils qui le constituent. — On admet généralement que, dans un câble métallique bien fabriqué, la résistance totale du câble est sensiblement égale à la somme des résistances des fils. Certains fabricants admettent, et plutôt sous forme de coefficient de garantie que comme l'expression de la réalité, qu'il peut y avoir une différence de 5 p. 100 entre la résistance réelle du câble et la somme des résistances des fils.

Le dépouillement des essais de rupture de câbles faits pendant plusieurs années par le service de réception des fournitures de la marine nationale, est de nature à confirmer cette manière de voir.

Des séries d'expériences qui ont été faites au Creusot avec la machine à essayer du colonel Maillard conduiraient au contraire à faire supposer que le commettage des fils en torons, puis des torons en câble, pourrait réduire la résistance totale du câble de 35 à 40 p. 100 de la somme des résistances des fils. Mais il est permis de considérer les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites, les échantillons n'ayant notamment pas plus de 100 millim. de longueur, comme n'étant pas du tout comparables aux conditions de service normal d'un câble d'extraction.

Modifications subies par les câbles en service. — Dans les premiers jours de la mise en poulie les câbles métalliques s'allongent de 1 à 2 p. 100. Lorsqu'ils approchent de la limite de leur durée, ils subissent parfois un allongement lent et continu. Mais en général l'usure des câbles ne se marque à l'extérieur que par la déformation et l'aplatissement, puis la rupture d'un plus ou moins grand nombre de fils.

La question de savoir si les fils de fer d'un câble subissent par le seul fait de leur service une altération moléculaire qui suffise pour amener une diminution plus ou moins

considérable de la résistance du câble a été très controversée.

Pour beaucoup d'exploitants et de fabricants la question ne fait pas de doute : le fer des câbles, sous les vibrations, devient aigre et cassant et perd de sa résistance élémentaire, c'est-à-dire que sa résistance par unité de section diminue dans des proportions assez fortes.

D'autres fabricants au contraire ont produit des résultats d'expériences qui établiraient, suivant eux, que les fils de fer usés conservent la même résistance élémentaire par unité de section, d'où il résulterait qu'il n'y aurait pas altération moléculaire. Ces fabricants reconnaissent bien, ainsi que l'établissent leurs expériences, que les fils de fer d'un vieux câble n'ont plus, par fil, la même résistance ; mais pour eux ce résultat proviendrait uniquement de la diminution de section que les fils subissent par suite de leur service, par le frottement et l'oxydation dans tous les câbles et en outre, dans les câbles plats, par le cisaillement du fil de couture.

Au fond, dans l'une comme dans l'autre théorie, on arriverait toujours à ce résultat qu'un câble en service perd graduellement de sa résistance, un peu plus vite et d'une façon moins parfaitement perceptible pour les partisans de la première théorie que pour ceux de la seconde.

Mais si l'on examine plus attentivement les résultats des expériences rapportées par ceux qui soutiennent qu'il n'y a pas altération moléculaire, on est amené à reconnaître qu'elles ne justifient pas leurs conclusions.

Ainsi la commission des ardoisières d'Angers a communiqué deux séries d'expériences comparatives fort intéressantes, faites sur des fils de câbles ronds semblables, l'un neuf et l'autre ayant rompu en service.

Dans la première série, les câbles étaient formées par 108 fils du Berry n° 13 (diam. = 2 millim.), disposés en 6 torons de 18 fils chacun, à double couronne (12 enve-

loppant 6), avec âmes en chanvre dans le câble et le toron.

Le câble en service avait été employé 10 mois 20 jours; il avait fait 54.360 ascensions, tiré 90.509 tonnes d'une profondeur de 110 mètres et décrit, par suite de la manière dont il était installé, 233.235 circonférences.

Le résultat moyen des expériences comparatives faites sur les 18 fils d'un toron de câble, dans le câble vieux et dans le câble neuf, sont résumés dans le tableau suivant qui ne donne que les moyennes.

CABLES.	RÉSISTANCE à la rupture par fil.	RÉSISTANCE à la rupture par millimètre carré. (1)	ALLONGEMENT total à la rupture (a).	ALLONGEMENT élastique (a).	NOMBRE de flexions (b),	OBSERVATIONS.
	kilog.	kilog.	p. 100	p. 100		(a) Mesuré sur 0m,50 de longueur.
Câble neuf. . .	224,3	74,69	1,036	0,498	7,0	(b) Dans l'étau à mâchoires arrondies sur 5 millim. de rayon.
Câble vieux. .	175,0	,46	0,190	0,258	6,1	(1) La section moyenne a été déduite par le poids du fil.

Ce qui frappe surtout dans ces expériences, c'est la diminution de l'élasticité des vieux fils, qui marque bien que le fer est devenu plus aigre et a par suite subi une altération moléculaire.

La résistance au millimètre carré n'aurait diminué que de 19 p. 100; il est vrai que la détermination de cette donnée pour de vieux fils est fort incertaine par suite de la quasi-impossibilité de déterminer la vraie grandeur de la section de rupture. Le fil est trop irrégulier pour qu'on puisse accepter la section moyenne résultant d'une pesée. Comme le fil se rompt au point de moindre section on serait même fondé à dire que la résistance au millimètre carré dans la section de rupture est certainement

supérieure à celle indiquée par le tableau et par suite moins différente de celle des fils neufs.

En tout cas, si l'on compare les résistances totales par fil dans le câble neuf et dans le câble vieux, on en tire un enseignement qui doit être pris en sérieuse considération.

La résistance des fils neufs dont la moyenne ressort à 224^{kg},3 a varié dans les expériences entre un maximum de 237,2 et un minimum de 206^{kg},5 ; l'écart entre les extrêmes est de 13,7 p. 100 de la résistance moyenne, et le fil le plus faible a une résistance inférieure de 7 p. 100 à la résistance moyenne. Pour les fils vieux la moyenne de 175 kilog. est comprise entre les deux extrêmes de 219 et 145, différant de 42 p. 100 de la moyenne. Le fil le plus usé a une résistance de 55 p. 100 inférieure à la résistance moyenne des fils neufs.

Dans la seconde série d'expériences on a comparé les fils d'un câble neuf avec ceux d'un câble qui s'était rompu en service, à la suite apparemment d'un coinçage de la charge.

Ces câbles avaient la même composition que les précédents, sauf que le fil était du n° 12 (1^{mm},8 de diam.) au lieu d'être du n° 13 (2 millim. de diam.).

Ces expériences, faites également sur les 18 fils d'un toron dans les mêmes conditions que les précédentes, ont donné les résultats moyens suivants (*) :

(*) 8 des fils neufs sur les 18 essayés s'étant rompus hors des repères, on en a profité pour les essayer à nouveau dans le but de vérifier l'effet produit par une première rupture. Ces expérience ont donné, en moyenne, les résultats suivants :

RÉSISTANCE totale par fil.	RÉSISTANCE par millimètre carré.	ALLONGEMENT total à la rupture.	ALLONGEMENT élastique.	ANGLES de flexion.
198,5	80,6	6,67	0,520	7,9

Ainsi, si l'allongement total à la rupture a diminué, ce qui

CABLES.	RÉSISTANCE totale par fil.	RÉSISTANCE par millimètre carré.	ALLONGEMENT total à la rupture.	ALLONGEMENT élastique.	ANGLES de flexion.	OBSERVATIONS.
Câble neuf. . .	kilog. 197,0	kilog. 80	1,068	0,455	9	(a) Les angles de flexion des vieux fils n'ont pas été relevés; mais on s'est assuré qu'ils se cassaient sous une seule flexion.
Câble vieux. .	132.5	55	0,462	0,278	(a)	

Cette seconde série d'expériences met plus en évidence encore l'altération subie par le fil. Ici ce n'est pas seulement l'élasticité qui a diminué de moitié, mais aussi la résistance par millimètre carré dont la diminution, qui est de 31 p. 100, peut être difficilement attribuée à l'erreur de détermination commise dans la mesure de la section.

Ces différences sont d'autant plus remarquables que l'usure des fils du vieux câble paraît avoir été plus uniforme que dans la première expérience. Dans les fils neufs la différence de résistance par fil entre les fils les plus et les moins résistants s'élève à 15 p. 100 de la résistance moyenne, et le fil le moins résistant à une résistance inférieure de 7 p. 100 à cette résistance moyenne. Dans les fils vieux l'écart entre le plus et le moins résistant est de 24 p. 100 de la moyenne. Mais le fil le plus usé a toujours une résistance de 41 p. 100 au-dessous de la résistance moyenne des fils neufs.

M. l'ingénieur en chef Peslin a, de son côté, fait des expériences analogues sur des fils de Comté n° 14 ($2^{mm},2$ de diam.) provenant d'un câble plat mis hors de service par suite d'usure.

Les fils neufs avec lesquels ces fils usés ont été comparés

---

s'explique parfaitement, l'allongement élastique et la résistance par millimètre carré sont restés sensiblement les mêmes.

ont une résistance moyenne de 277 kilog. par fil ou de 73 kil. par millimètre carré, compris entre un maximum de 290 kilog. et un minimum de 265. M. Peslin a essayé 20 fils retirés du vieux câble : leur résistance moyenne a été de 152 kilog., avec un maximum de 185 et un minimum de 80 kilog. par fil. Ces fils étaient complètement ovalisés et avaient une section presque rectangulaire, trop irrégulière pour qu'il ait été possible d'évaluer assez exactement leur résistance par millimètre carré.

En tout cas, si ces expériences ne sont pas concluantes en ce qui concerne la variation de la résistance par millimètre carré, il en ressort toujours que la résistance moyenne par fil et par suite la résistance du câble, dans les deux états des fils, est réduite dans l'énorme proportion de $\frac{277 - 152}{277}$ ou de 45 p. 100. En outre, tandis que pour les fils neufs la différence entre le plus ou le moins résistant (290 et 265) n'est que de 13 p. 100 de la résistance moyenne, dans le câble usé, la différence entre les fils le plus et le moins résistant est de 73 p. 100 de la résistance moyenne des vieux fils.

Aucune expérience n'a pu être faite sur l'allongement et la flexibilité de ces fils usés de câbles plats : quand on voulait les redresser, ils se rompaient. Sans doute ce fait tient en partie au cisaillement dû au fil de la couture, cisaillement qui rend les vieux fils comme « dentelés ». Mais l'état auquel ces fils sont ainsi amenés montre bien que ces fils ne sont plus dans les mêmes conditions qu'à l'état neuf pour supporter les divers efforts auxquels ils peuvent être soumis.

Des expériences faites au Creusot sur des fils de câble plat n° 13 ($2^{mm},4$) ont donné les résultats suivants :

I. — Premier câble ayant duré 21 mois.

Résistance à la rupture par fils.

	FILS NEUFS.	APRÈS 7 mois de service.	APRÈS 11 mois de service.
Résistance totale par fil	kilog. 320	kilog. 275	kilog. 225
Résistance par fil rapportée à la résistance du fil neuf	100	86 p. 100	71 p. 100

II. — Deuxième câble.

	FILS neufs.	FILS APRÈS 3 mois.	9 mois.	13 mois.	18 mois.	25 mois.	26 mois
Résistance totale par fil.	330	312	312	280	172	183	130 (1) 165 (2)
Résistance par fil rapportée à la résistance du fil neuf	100	p. 100 99	p. 100 85	p. 100 75	p. 100 52	p. 100 55	p. 100 40 (1) 50 (2)

(1) A 20 mètres du petit bout. (2) A 110 mètres du petit bout.

De beaucoup d'autres expériences analogues, mais moins complètes, il résulte que, s'il n'y a pas toujours une diminution bien marquée dans la résistance à la rupture élémentaire, c'est-à-dire rapportée au millimètre carré, il y a indubitablement une diminution graduelle de la résistance du câble à la rupture pendant tout le temps de son service.

D'autre part, il y a certainement une altération de la matière du fil, qui a pour effet de diminuer sa résistance vive de rupture plus encore que la charge de rupture, ce qui ne permettrait plus au câble finalement de résister à

un effort ou à un choc, sinon exceptionnel du moins légèrement anormal. On conçoit donc que le câble, *au bout d'un certain temps de travail*, puisse céder brusquement sans que des signes apparents à l'extérieur en préviennent. Un pareil fait peut se réaliser d'autant plus facilement que le câble travail dans ces conditions d'*efforts répétés*, étudiées par M. Wöhler, susceptibles, on le sait, d'amener la rupture à la longue, alors même que chaque action prise isolément serait inférieure à celle nécessaire pour la provoquer.

Charges de travail. — Les formules indiquées par les fabricants ou les exploitants pour exprimer la charge de travail d'un câble ont été fort variables et conduisent en fait à des résultats assez différents, en ce qui concerne notamment la charge par millimètre carré de section métallique. Cela se conçoit assez bien : suivant la composition d'un câble et les soins donnés à sa fabrication, le travail peut être plus ou moins uniformément réparti et 1 millim. carré de section, sous un même effort total appliqué au câble, peut être exposé à supporter des charges inégales. De plus, il y aurait également lieu de tenir compte des conditions générales très différentes dans lesquelles un câble travaille d'un mine à l'autre.

De là vient que l'on voit indiquer des charges de service qui, pour certains câbles ronds de composition simple, vont jusqu'à 12 et 14 kilog. par millimètre carré de section métallique — charge trop forte d'ailleurs en tout état de cause — et s'abaissant à 5 ou même $4^{kg},5$ pour de gros câbles plats.

Il est assez souvent d'usage de rapporter la charge au poids de l'unité de longueur, et il n'est pas rare de rencontrer cette règle, qui a tout au moins le mérite de la simplicité, qu'un câble peut enlever une tonne par kilogramme de son poids au mètre courant.

On ne doit pas perdre de vue, dans cette manière d'évaluer les charges, qu'au poids utile des fils métalliques on ajoute le poids des âmes en chanvre, du goudron et de l'huile de graissage et en plus pour les câbles plats le poids des fils de couture, toutes choses qui, pour cette dernière sorte de câbles, représentent un quart du poids total.

Aussi certaines mines qui acceptent en principe la règle simple ci-dessus rappelée ne chargent leurs câbles plats que de 850 kilog. par kilogramme de mètre courant.

D'une façon générale on pourrait dire que dans les installations bien comprises on cherche à faire travailler les câbles au dixième de l'effort qui serait capable de déterminer la rupture, en admettant qu'on pût arriver à connaître exactement l'effort nécessaire pour produire ce résultat sur un câble dans des conditions de service. Cependant pour quelques câbles ronds, de composition simple et de faible section relative, dans lesquels on peut supposer que toute la section métallique travaille uniformément, on se rapproche parfois d'une charge de service de 1/6e de la charge de rupture.

Fatigue due à l'enroulement. — Diamètre d'enroulement minimum. — Aucune expérience directe n'a été faite pour étudier la fatigue due à l'enroulement des câbles sur les poulies, bien que partout on reconnaisse et on admette l'importance de cette question pour les câbles métalliques. Aussi n'a-t-on indiqué nulle part de règles bien précises pour les relations à adopter entre les divers éléments de la question : diamètre de la poulie, diamètre et nature du fil, diamètre ou épaisseur du câble, pas de l'hélice des fils et des torons.

Reuleaux, dans le *Constructeur*, a simplement indiqué 555 comme rapport minimum à adopter entre le diamètre de la poulie et celui du fil dans les câbles en fer, et cette donnée a été reproduite par quelques fabricants. D'autres in-

diquent comme règle : pour les petites installations un rapport minimum de 50 entre les diamètres de la poulie et du câble, et de 80 à 100 pour les installations importantes.

En fait, dans les installations récentes, les molettes ont habituellement 3 mètres de diamètre, plus rarement 3m,50 ou 3m,60, soit qu'on emploie des câbles plats en aloès de 40 à 50 millim. d'épaisseur, des câbles plats en fer de 25 millim. d'épaisseur ou des câbles ronds en fer de 40 millim. de diamètre. On trouve tout à fait exceptionnellement des molettes de 4 mètres de diamètre.

Les diamètres des tambours pour câbles ronds métalliques sont au moins égaux et généralement supérieurs à ceux des molettes. L'augmentation des diamètres des tambours provient souvent, il est vrai, du désir de diminuer le nombre de tours pour une profondeur déterminée, beaucoup plus que de celui de diminuer la fatigue de l'enroulement du câble.

Avec les câbles plats au contraire on trouve parfois des diamètres d'enroulement initial inférieurs, et assez sensiblement inférieurs, à celui des molettes, ce qui est une pratique fâcheuse pour la durée et la conservation des câbles, alors surtout que les diamètres des molettes sont à peine suffisants.

Angle des deux brins. — L'influence sur la durée des câbles métalliques de l'angle que font entre eux les deux brins, est certainement plus controversée que pour les câbles en textiles. L'idée qui paraît dominer est, comme pour les câbles en textiles, que l'angle des deux brins ne doit pas être inférieur à 60° suivant les uns, à 40° suivant les autres.

Obliquité du câble entre la molette et le tambour. — Tous les exploitants et les fabricants reconnaissent que,



pour les câbles ronds, il faut diminuer l'obliquité dont l'effet est d'amener, soit contre les joues des molettes, soit sur le tambour, des frottements éminemment préjudiciables à la durée et à la conservation des câbles. Mais aucune règle n'a été indiquée quant au maximum à accepter.

Les chiffres indiqués ont varié, pour toutes les installations de quelque importance, de $0^m,033$ par mètre ($0^m,710$ pour 20 mèt.), à $0^m 0053$ ($0^m,16$ par 30 mèt.). Et même dans les mines où l'obliquité est si réduite, on trouve encore que les dernières spires frottent beaucoup l'une sur l'autre.

Influence du double enroulement sur la durée du câble en dessous. — Cette question est certainement moins controversée pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles. On s'accorde généralement à reconnaître que le câble en dessous a une durée qui serait inférieure à celle du câble par-dessus de 10 à 33 p. 100 suivant les mines. Dans un assez grand nombre de mines cependant, on paraît ne pas avoir remarqué de différences dans la durée des câbles attribuables à cette cause.

Suppression de l'enroulement par-dessous. — On s'explique donc que l'on ne se soit nulle part préoccupé systématiquement de la suppression de l'enroulement par dessous. Quelques mines où on avait essayé de la réaliser autrefois par un système d'engrenages spécial y ont renoncé. On ne la rencontre plus que dans les installations où les molettes sont supprimées ou encore dans celles où l'extraction se fait par puits jumeaux.

La mine du Lac (Ardèche) est la seule qui ait donné des indications sur les résultats de la suppression des molettes à l'un de ses puits.

Dans l'installation première avec chevalement, 3 câbles

en chanvre ont duré en moyenne trois ans un mois et tiré moyennement 73.435 tonnes à 100 mètres; depuis la suppression du chevalement, un câble a duré huit ans huit mois, et tiré 247.393 tonnes à 100 mètres. Il y aurait donc eu une durée à peu près trois fois supérieure et un travail un peu plus de trois fois plus fort.

Modes d'attache des câbles. — Les modes d'attache des câbles ou la confection de la patte sont les mêmes pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles, et ne donnent pas lieu à des observations spéciales.

L'emploi des bouts de câble en aloès pour réunir le câble à la cage, comme l'emploi de chaînes disposées dans ce but, ne paraît pas avoir donné de résultats qui soient de nature à recommander la généralisation de ces pratiques.

Ressorts de suspension. — Bien que considérés comme d'une utilité beaucoup plus réelle pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles, les ressorts de suspension ne sont, en fait, pas plus employés avec ceux-là qu'avec ceux-ci.

On se bornera à signaler ici, en outre de ce qui a été dit au § 2, sur les câbles en textiles, l'essai qui a été fait pour les câbles métalliques, de monter les paliers des molettes sur ressorts ou d'employer des bobines dont les bras étaient formés par des ressorts de voitures. On a renoncé, après essai, à l'un comme à l'autre artifice; on reprochait notamment à la première disposition de donner du gauche au câble.

Des épissures. — Les observations faites relativement aux épissures des câbles en textiles s'appliquent avec plus de force aux câbles métalliques. L'épissure dans de pareils câbles doit être faite avec plus de soins encore, et entre des parties saines non usées. Un câble métallique épissé

doit éveiller plus particulièrement l'attention, s'il est destiné à être employé à la circulation du personnel.

Garnitures des molettes. — D'après la pratique de plusieurs mines, on peut signaler comme une bonne mesure de garnir de bois les molettes, afin d'éviter le frottement du câble métallique contre la fonte.

Conservation des câbles avant la mise en service. — Les câbles avant leur mise en service doivent être gardés dan un lieu bien sec et aéré, à l'abri des intempéries. On doit éviter le contact du sol en mettant les câbles sur chantiers, et mieux encore les tenir suspendus, en posant sur chantiers les extrémités des axes des bobines sur lesquelles ils sont enroulés.

On recommande aussi de garder les câbles six mois au moins en magasin, afin d'éviter la séparation du goudron qui se produit à la mise en service des câbles de fabrication trop récente.

Si l'on rentre en magasin un câble qui n'est pas encore arrivé au terme de son service, il convient de le graisser avec du suif et de détendre un peu les anneaux pour permettre la circulation de l'air.

Entretien des câbles. — L'oxydation est une des causes principales de l'usure et du dépérissement des câbles métalliques : il est donc d'une importance capitale de la prévenir et de la combattre par un graissage répété aussi souvent que de besoin.

On procède généralement au graissage dans toutes les mines à des intervalles plus ou moins rapprochés et avec des substances diverses.

Parmi les substances à employer, il faut rejeter toutes celles qui seraient acides. Des ruptures subites ont eu lieu dans certaines mines pour avoir employé de la graisse noire acide : les fils attaqués par l'acide étaient rompus

dans une certaine longueur au contact des torons les uns avec les autres, sans que le fait ait pu être reconnu à temps par l'examen extérieur.

La graisse à employer doit satisfaire à cette double condition, d'être assez fluide pour s'introduire jusqu'à l'intérieur du câble, de façon à parvenir jusqu'aux âmes en chanvre, et d'autre part d'être assez consistante pour se maintenir sur l'extérieur du câble. Le goudron, employé seul, comme le font quelques mines, ne convient donc pas très bien ; il faut qu'il soit au moins mélangé avec de l'huile. Les mélanges suivants ont été indiqués comme ayant fait un bon service : 3/4 de goudron végétal avec 1/4 d'huile de pied de bœuf ; — 80 de goudron végétal, 10 d'huile d'olive et 10 de suif. Ces mélanges doivent être brassés intimement et chauffés de façon à faire une masse bien homogène : ils sont appliqués à chaud à la brosse.

Certaines mines se sont bien trouvées, en outre des graissages à fond faits avec les mélanges sus-indiqués, de faire, entre deux de ces graissages, des graissages à l'huile à la burette.

Coupage de la patte. — La pratique du coupage de la patte est encore plus indiquée pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles. Il y a plus d'intérêt pour les câbles métalliques à changer le point d'appui sur les molettes et à enlever à la patte une partie qui est plus exposée à dépérir par oxydation.

En outre, des essais comparés faits sur les fils de la partie coupée avec ceux faits sur des fils neufs peuvent donner de très utiles indications sur la détérioration amenée dans les fils par le service.

Retournement du câble. — Cette pratique est encore moins recommandée pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles.

Passage d'une molette à l'autre. — On n'y recourt généralement, comme pour les câbles en textiles, que dans des cas tout à fait exceptionnels.

Travail et durée des câbles. — Toutes les observations faites à l'occasion des câbles en textiles peuvent se répéter pour les câbles en fer. Les renseignements fournis ne permettent pas plus, pour ceux-ci que pour ceux-là, de déduire quelque conclusion un peu précise. Les indications générales données pour la durée et le travail des câbles en textiles paraissent s'appliquer à peu près aussi bien aux câbles en fer.

Comme pour les câbles en textiles, les câbles en fer ne sont généralement enlevés que lorsqu'ils paraissent usés, ce qui pour les câbles en fer s'apprécie surtout, comme on l'a dit, aux nombres de fils cassés qu'ils présentent.

Ruptures subites en service. — Ainsi qu'on l'a expliqué à l'occasion des câbles en textiles, les seules ruptures qu'il y ait intérêt de relever sont celles survenues subitement en service, en dehors de tout accident ou de tout effort trop anormal subi par le câble, — tels que lors d'une mise aux molettes ou d'un coinçage de la charge dans le puits, — le câble étant d'ailleurs supposé susceptible de faire encore un bon service.

Il n'a été signalé que 26 ruptures survenues, dans de pareilles conditions, aux câbles employés dans l'extraction des mines. Pour beaucoup d'entre elles, remontant à quelques années, tout souvenir en aura été perdu.

De ces 26 ruptures, il est difficile de tirer quelques conclusions précises, les circonstances de fait et d'installation dans lesquelles elles sont survenues n'ayant généralement pas été relevées avec détail.

Les points principaux qu'on peut relever sont les suivants :

Sur les 26 câbles rompus, il y en a 20 plats, 5 ronds et un dont la forme n'a pas été indiquée.

La durée du service des câbles rompus n'a été indiquée que dans 6 cas : 2 avaient 8 mois de service ; un 12 mois et les trois autres de 13 à 14 mois 1/2.

Sur les 26 ruptures, 11 ont eu lieu à la patte ou au voisinage immédiat de la patte, 5 sur les molettes, 2 sur le tambour ou sur la bobine, 3 en pleine corde ; pour les 5 autres, il n'a pas été donné de renseignements sur le point de rupture.

Des ruptures survenues sur la molette, le tambour ou la bobine, 6 ont eu lieu au démarrage ou peu après le démarrage ; pour la 7e, il n'a pas été donné de renseignements. Des 3 ruptures en pleine corde, une a eu lieu au démarrage et les deux autres pendant l'ascension. 5 autres ruptures, toutes survenues à la patte, ont eu lieu pendant l'ascension. En résumé, sur les 26 ruptures, 7 ont eu lieu au démarrage même ou un peu après le démarrage et 7 pendant l'ascension, aucune indication n'ayant été donnée à cet égard sur les 12 autres.

La rupture a été indiquée comme s'étant faite dans un seul cas à l'ascension d'une cage vide ; dans 3 cas, elle a eu lieu pendant le service de l'épuisement, c'est-à-dire avec des chargessu périeures à celles de l'extraction.

Dans deux cas, la rupture du câble a été attribuée à l'attaque et à la rupture d'un assez grand nombre de fils, à l'intérieur du câble, par suite de l'emploi d'une graisse acide. Dans deux autres cas, il avait été constaté, avant la rupture, que le câble était avarié et devait être remplacé. Dans un cas, il a été constaté, après une rupture à la patte, que les fils étaient certainement avariés en cet endroit, leur flexibilité ayant diminué de 75 à 50 p. 100. La cause de la rupture des 21 autres cas est restée inconnue ; pour quelques-uns d'entre eux, on a supposé que le démarrage avait été trop brusque.

Des ruptures relativement plus fréquentes ont été signalées dans les câbles d'extraction des ardoisières de la Mayenne et d'Angers, où l'extraction se fait par la disposition suffisamment connue du *billon de conduite*.

En dehors des ruptures résultant de fausses manœuvres, on en a signalé 5 qui sont toutes survenues à l'ascension, lorsque le *bassicot* arrivait près de la recette.

Dans 3 cas, la rupture a eu lieu à la patte. Dans l'un d'eux, il a été constaté que la rupture provenait de ce que, par suite du mode d'installation, la patte arrivait à reposer sur la molette ; le câble se coupait à sa jonction avec la patte par suite de la rigidité et de la raideur que celle-ci donnait au système : c'est un état de choses analogue à celui déjà signalé dans le cas de l'emploi d'*épissures à plaques*.

Sauf dans cette rupture, il a toujours été constaté que les fils étaient devenus aigres et cassants et avaient perdu leur flexibilité au point de rupture.

Ce cas s'est présenté très nettement pour deux ruptures survenues en pleine corde dans des câbles qui paraissaient suffisamment sains d'après leur apparence extérieure, mais dont la matière se trouvait énervée et altérée par un trop long service.

C'est là une preuve nouvelle et suffisamment établie de ces faits d'altération sur lesquels on a insisté précédemment.

§ 4.

Câbles en acier.

Généralités sur la fabrication et l'emploi des câbles d'acier en France. — On a dit dans l'aperçu statistique du § 1er que l'emploi des câbles d'acier pour l'extraction était encore une exception en France ; on verra, au contraire, dans la

deuxième partie, le développement qu'ils ont pris en Angleterre et en Allemagne, où ils sont certainement aujourd'hui les plus employés.

Jusque dans ces derniers temps les câbles d'acier employés en France étaient, sauf de très rares exceptions, des câbles fabriqués en Angleterre ou bien faits en France avec des fils d'acier venant d'Allemagne. Tous les renseignements qui pourraient être donnés ici sur ces fils et ces câbles seront plus naturellement à leur place dans la deuxième partie du rapport.

Les premiers câbles faits en France avec des fils de fabrication française avaient été faits avec des aciers Bessemer doux. Les fils avaient été tréfilés comme des fils de fer. Ces câbles ont donné un très mauvais résultat. Depuis, la fabrication des fils d'acier pour câble a été reprise en France, d'après les méthodes consacrées par une pratique déjà longue en Allemagne et en Angleterre. On part d'aciers fondus relativement durs, aussi homogènes que possible, auxquels, par des trempes et des recuits appliqués d'une façon convenable, on arrive à donner les qualités admises comme les meilleures pour l'emploi dans les câbles de mines, c'est-à-dire une résistance, pour les numéros de fils les plus couramment employés (14 à 15), de 110 à 120 kilog. par millimètre carré et un allongement de 3 à 5 p. 100. De pareils fils subissent de 12 à 13 flexions à 90° dans l'étau à mâchoires arrondies de 5 millim.

Le point capital, pour arriver à un câble susceptible de faire un bon service, est l'homogénéité de la constitution du métal constituant les fils, ce qui rentre plus spécialement dans le domaine métallurgique, et l'homogénéité dans les qualités des fils à mettre en œuvre, ce qui dépend de l'habileté et des soins du tréfileur. Le fabricant de câbles doit à son tour veiller à ce que tous les fils qui entrent dans la composition d'un câble soient aussi semblables

que possible dans les essais de résistance, d'allongement, de flexibilité et de torsion qu'il doit faire subir aux fils avant de les employer.

Quelques câbles ont été récemment fabriqués en France d'après ces principes : les fils avec lesquels ils ont été composés satisfaisaient à ces conditions. Les câbles sont en service depuis trop peu de temps pour que la pratique se soit prononcée en ce qui les concerne. Il est permis d'espérer que, si on les emploie dans les conditions d'installation et d'entretien que de pareils câbles réclament, ils feront un service aussi bon que les câbles de cette nature faits à l'étranger.

Modifications amenées par le service. — L'emploi des câbles en acier est encore trop récent et trop peu répandu en France pour que l'enquête ait pu fournir quelque renseignement sur ce point.

Il n'a été rapporté que deux faits intéressants et qui confirment bien les observations du paragraphe précédent. Un des premiers câbles qui avaient été fabriqués avec les aciers doux de l'origine s'est rompu subitement au bout de neuf mois de service dans un puits d'extraction, sans cause nettement discernable. La résistance des fils essayés isolément ne paraissait pas avoir beaucoup diminué; de 110 kilog. par millimètre carré, quand ils étaient neufs, leur résistance était encore de 104 kilog. Mais la résistance d'un toron qui, mesurée directement à l'état neuf, était de 2.250 kil., n'était plus, dans le câble rompu, que de 1.800 kilog., soit une diminution de 30 p. 100, due vraisemblablement au nombre des fils cassés. Un fait remarquable, en effet, et tout à fait carastéristique, était que les fils du câble rompu avaient perdu toute flexibilité ; ils se rompaient au premier pliage.

Les mêmes exploitants ont essayé, au bout de 17 mois de service les fils d'un câble, provenant d'une des bonnes

maisons anglaises, qui servait comme câble porteur d'un transport aérien. La comparaison des résistances tant des fils isolés que des torons au début et après 17 mois de service n'ont pas indiqué de variations bien sensibles ; la flexibilité des fils continuait à rester très bonne.

En rapprochant ces deux faits, il ne faut pas perdre de vue que les conditions d'emploi de ces deux câbles étaient essentiellement différentes : autre chose est le service d'un câble d'extraction soumis à la fatigue due à l'enroulement sur les molettes et le tambour et celui d'un câble porteur de transport aérien.

§ 5.

Observations communes à tous les câbles d'extraction.

Conditions de réception. — Garanties. — On peut dire, en ce qui concerne le mode suivi pour les réceptions, que le système à peu près général adopté par les mines est celui de la confiance : les exploitants s'en remettent aux fabricants qui leur en inspirent une suffisante ; ils les supposent intéressés à bien fournir pour ne pas perdre leur clientèle.

Dans quelques mines on cherche à exciter les fabricants à livrer les meilleures fournitures en les mettant pour ainsi dire au concours par l'emploi systématique, dans le même puits, de deux câbles provenant chacun d'une maison différente.

On rencontre assez fréquemment dans le Nord, plus exceptionnellement dans les autres bassins, un système de garanties imposées aux fabricants, analogue à celui qui a cours en Belgique. Ce sont des garanties d'un caractère plus spécialement commercial, fixant pour un câble un délai de service minimum ou un tonnage minimum ou l'un et l'autre.

La seule sanction de pareilles garanties lorsqu'elles ne sont pas remplies est une diminution de prix convenue d'avance ou à débattre entre les intéressés. La question de sécurité dans l'emploi des câbles n'entre pas pour grand' chose dans un pareil système.

La plupart des exploitants pensent que toutes autres garanties qu'on voudrait imposer aux fabricants seraient illusoires ou sans portée pratique. Il en serait ainsi notamment, suivant quelques-uns d'entre eux, des essais d'allongement ou de rupture qu'on voudrait faire faire sur le câble neuf : ces essais ne pourraient être faits que sur les bouts, ce qui n'apprendrait pas grand chose pour le restant du câble; le fabricant pouvant, à la rigueur, soigner les bouts d'une façon spéciale.

Quelques-uns cependant reconnaissent l'intérêt d'essais préalables pour renseigner sur la force réelle du câble, surtout quand il s'agit de câbles métalliques, et dans plusieurs mines on a organisé un service d'essais réguliers et méthodiques. Le plus souvent on se contente d'essayer l'allongement, la charge de rupture et la flexibilité des fils isolés. Quelques grandes compagnies, allant plus loin, essayent dans leurs ateliers les câbles eux-mêmes et se font délivrer par les fournisseurs, à chaque câble, le procès-verbal des essais faits sur tous les fils qui entrent dans sa composition.

On estime généralement que, pour les câbles en textiles, de pareils essais préalables sont moins nécessaires : l'examen de la qualité de la matière avec laquelle est faite le câble, ce qu'un peu d'habitude permet de facilement apprécier, et la façon dont il se comporte pendant le premier mois de son service, suffiraient, suivant plusieurs exploitants, pour fixer sur les qualités d'un câble : à la manière dont la couture se comporte et à l'allongement que prend le câble pendant ce temps, on peut le juger. Un nouveau pesage pourrait être fait, à la rigueur, au bout d'un mois

pour se rendre compte de l'excès de goudron que le câble aurait pu recevoir. Il faut éviter qu'il y en ait plus de 10 p. 100, suivant les uns, ou 20 p. 100, suivant quelques autres.

Cependant si on se reporte aux différences si considérables que peuvent présenter les charges de rupture de câbles en aloès, et qui ont été signalées au § 2, on reconnaîtra que des essais directs chez le fabricant ou chez l'exploitant auraient un grand intérêt.

Quelques exploitants ont indiqué, comme une mesure utile, une surveillance qui serait exercée par l'exploitant chez le fabricant pour se rendre compte de tous les points qui viennent d'être signalés.

Une fois mis en service, comme tous les câbles perdent graduellement de leur force, et qu'il y a même par le service une véritable détérioration de la matière, les essais faits à l'origine ne sont plus suffisants. Les épreuves tout à fait rationnelles à faire subir à un câble, pour se rendre compte de sa force à un moment donné, consisteraient à refaire sur les éléments des bouts de câbles coupés à la patte et sur les bouts eux-mêmes les expériences d'allongement, de rupture et de flexion que l'on fait à la mise en service.

Surveillance des câbles en service. — Toutes les mines font connaître que les câbles en service sont surveillés d'une façon continue par les receveurs et machinistes, en outre de la surveillance générale exercée par les maîtres mineurs et ingénieurs ou tous autres agents de cet ordre. Comme on l'a fait remarquer, une surveillance des câbles ainsi organisée est bien souvent plus nominale qu'effective ; on a dit justement qu'on ne peut pas voir un câble quand il travaille. Aussi plusieurs mines ont-elles organisé un examen fait par un agent spécial, qui doit visiter le câble en le faisant dérouler lentement devant lui à la recette du

jour : la visite est quotidienne sur quelques exploitations ; elle a lieu chaque semaine ou tous les quinze jours dans d'autres. Dans certaines mines l'agent spécialement chargé de ce service dresse un procès-verbal de visite qu'il remet à l'ingénieur.

En dehors de la surveillance exercée par leurs agents, quelques mines du Nord, imitant en cela une pratique admise en Belgique, font visiter leurs câbles par des contremaîtres des maisons qui les ont fournis.

Précautions spéciales pour la circulation des ouvriers par les câbles. — Il résulte des renseignements fournis par l'enquête que l'emploi des parachutes n'est pas général dans les puits où le personnel circule normalement par les câbles.

La circulation a lieu tantôt par un des deux câbles seulement, le dernier posé, et dans ce cas le changement des deux câbles se fait successivement à moitié de leur durée, tantôt par tous les deux, sans qu'on prenne d'autres précautions que celles généralement en usage en pareille circonstance : réduction de vitesse, réduction sur la charge normale de travail.

En tout cas, la circulation est toujours interdite avec un câble présentant le moindre danger ou la moindre avarie; certaines mines l'interdisent, en principe, avec un câble épissé. On a également émis l'avis qu'elle devait être interdite avec tout câble ayant atteint les deux tiers de sa durée normale ou extrait un tonnage proportionnel.

On peut également mentionner les pratiques suivantes appliquées en quelques points.

On change les câbles assez promptement, à la moitié ou au plus aux deux tiers de leur durée normale, pour les utiliser ensuite dans des puits où ne circulent pas les ouvriers, ou pour d'autres usages que celui de l'extraction : ainsi, dans le Pas-de-Calais, les câbles plats en aloès sont décou-

sus et leurs aussières séparées constituent les câbles des plans inclinés intérieurs.

Dans quelques mines, on procède à chaque fois à une visite spéciale du câble avant la remontée et la descente des ouvriers : cette mesure est notamment pratiquée dans les mines qui prohibent systématiquement l'emploi des parachutes.

On recommande enfin d'avoir toujours le soin de tendre le câble avant de laisser s'engager des personnes dans la cage.

Dispositions diverses. — En dehors des diverses recommandations sur des objets spéciaux exposés dans les paragraphes précédents, il a été proposé par quelques ingénieurs une seule mesure d'ordre général : la tenue par les exploitants de registres de câbles, faisant connaître, pour chaque câble employé, toutes les particularités relatives à sa fabrication, à sa mise en service, et relatant, au jour le jour, toutes le particularités de son fonctionnement et toutes les circonstances de sa mise en service. D'après l'enquête, il n'y aurait qu'une seule mine qui tient, et depuis fort peu de temps, de pareils registres.

Quand on voit combien la plupart des questions relatives aux câbles sont controversées, à ce point que sur chacune d'elles on soutient les opinions les plus contradictoires, il n'est pas douteux que la tenue de pareils registres serait fort utile, ne fût-ce que pour apporter des éléments sérieux pour trancher toutes ces questions.

§ 6.

Câbles employés aux guidages des puits verticaux.

Toutes les questions concernant ces câbles relèvent

beaucoup plus du domaine économique (*) qu'elles n'intéressent la sécurité. Les ruptures de ces câbles ne sont pas rares; mais on n'en a pas cité qui ait entraîné mort ou blessures d'hommes : elles n'ont généralement comme conséquence qu'un arrêt plus ou moins long de l'extraction, sans même produire de dégâts bien importants dans le matériel.

Aperçu statistique sur les points guidés en câbles. — Dans le bassin houiller du Nord, on a cité un seul puits, de 365 mètres de profondeur, guidé en câbles. Il n'y en a pas dans le bassin de l'Allier; il s'en trouve quelques-uns dans Saône-et-Loire. Dans le Gard, certaines compagnies emploient exclusivement ce procédé, appliqué à une grande partie des puits du bassin de la Loire.

Composition des câbles. — Sauf quelques mines, qui emploient aux guidages les mêmes câbles qu'à l'extraction, on s'accorde partout à reconnaître que le câble de guidage doit être établi dans des conditions très différentes de celles du câble d'extraction.

On emploie de très gros fils des n°s 18 ($3^{mm},4$ de diamètre) à 30 (10 millim. de diamètre) et, plus spécialement dans ces derniers temps, des n°s 23 a 30, peu tordus, formant un très petit nombre de torons, quelquefois un seul, en supprimant généralement l'âme en chanvre des torons.

Avec ces gros fils, on estime qu'il suffit d'un câble de 40 à 50 millim. pour des puits de 300 à 400 mètres : pour des puits de 300 mètres, on emploie des câbles de 32 millim.

(*) La question du guidage en câbles a beaucoup occupé, dans ces derniers temps, la Société de l'industrie minérale. Après avoir été souvent discutée dans les réunions mensuelles (de décembre 1874 à août 1875), elle a fait l'objet d'un rapport d'une commission spéciale, inséré dans le *Bulletin trimestriel*, 2e série, t. VI, p. 750.

Entretien des câbles. — Ces câbles doivent être graissés, pour le moins aussi souvent que les câbles métalliques d'extraction.

Mesures spéciales. — Plusieurs mines recommandent de faire en bronze le coulisseau ou coussinet de portage et de prendre une surface de portage aussi considérable que possible.

Durée des câbles guides. — Les câbles guides durent tous fort lomptemps : la compagnie de la Grand'Combe, qui se sert de fils un peu fins pour cet usage, ne les remplace généralement qu'au bout de trois ans. Ailleurs ils durent plus, 6 ou 7 ans.

Ruptures de câbles guides. — Les ruptures sont relativement assez nombreuses, parce qu'on ne s'attache pas beaucoup à les éviter, c'est dire aussi qu'elles n'ont pas été relevées avec beaucoup d'attention. Elles ont lieu le plus souvent à la partie inférieure, soit au dernier accrochage, soit entre cet accrochage et le puisard, dans une partie où le câble a particulièrement à souffrir de l'humidité.

Elles se produisent généralement sous les chocs résultant des manœuvres faites à l'accrochage.

§ 7.

Câbles employés au service des plans inclinés.

Les câbles employés au service des plans inclinés ne diffèrent en rien d'essentiel de ceux employés à l'extraction et les résultats de l'enquête, en ce qui les concerne, n'ont rien appris qui ajoutât quelque chose d'utile ou d'important à ce qui a été rapporté pour les câbles d'extraction.

Les conditions de composition, d'installation, d'entretien et de surveillance, indiquées pour les câbles d'extrac-

tion, s'appliquent aussi bien aux câbles des plans inclinés.

Au reste, en ce qui regarde la sécurité du personnel, toutes les questions concernant ces câbles ont moins d'importance. Ce n'est pas que les ruptures n'en soient pas fréquentes : elles le sont beaucoup plus que celles des câbles d'extraction. Mais leurs conséquences ont généralement peu de gravité, et dans la majorité des cas les accidents de personnes résultent de circonstances spéciales, dans lesquelles la question du câble en lui-même n'est pour rien.

Par ces motifs il a paru qu'on pouvait s'en référer aux diverses observatious présentées dans les paragraphes relatifs aux câbles d'extraction.

§ 8.

Des câbles employés aux trainages mécaniques et dans les transports aériens.

Des considérations analogues à celles qui précèdent ont également conduit à ne pas présenter de développements spéciaux sur ces câbles, qui ne diffèrent en rien, en principe, de ceux employés dans l'extraction.

DEUXIÈME PARTIE

DES CABLES EMPLOYÉS A L'ÉTRANGER

PREMIÈRE SECTION.

BELGIQUE.

Aperçu statistique sur la nature des câbles employés. — Malgré la grande profondeur des exploitations, les houillères belges emploient presque exclusivement les câbles

plats en aloès décroissants. Les câbles métalliques ne constituent, pour ainsi dire, que des exceptions encore très rares.

On rencontre les câbles plats en aloès jusqu'à des profondeurs de 700 et 800 mètres, et à Sacré-Madame près Charleroi, on a étudié une extraction à 1.000 mètres de profondeur avec de pareils câbles.

Beaucoup d'exploitants donnent bien comme motifs de cette préférence la crainte que leur inspirent toujours les ruptures inopinées, qu'on impute volontiers *à priori* aux câbles métalliques. Mais il faut certainement tenir compte aussi de l'habitude, presque générale en Belgique, d'employer des câbles plats, ce qui conduit par suite rationellement à préférer le câble en aloès pour mieux régulariser le mouvement de la machine aux grandes profondeurs où se poursuivent les exploitations belges.

Il convient également d'ajouter qu'il est relativement plus facile de se procurer en Belgique des câbles d'aloès parfaitement fabriqués avec des matières de premier choix.

En tout cas, la confiance dans cette sorte de câble, lorsqu'ils sont bien surveillés, est telle que dans la commission chargée en ce moment de reviser les règlements belges sur les mines, la sous-commission qui a été spécialement chargée d'étudier la question de la circulation des ouvriers a été d'avis qu'il n'y avait pas lieu de prescrire l'emploi de parachutes avec les câbles en textiles : la sous-commission a du reste hésité pour maintenir le parachute avec les câbles métalliques.

En fait, dans un très grand nombre de mines et des mieux tenues, on n'emploie pas de parachutes, même pour la circulation des hommes, avec les câbles en aloès : quelques mines les ont aussi supprimés avec les câbles métalliques.

Câbles d'aloès. — Un très grand nombre de câbles plats

employés en Belgique sont décroissants d'une façon pour ainsi dire continue; cette décroissance, qui permet d'avoir un câble d'un poids total relativement faible, n'est pas une des moindres causes qui expliquent la faveur dont ces câbles jouissent en Belgique.

Un des plus beaux exemples que l'on puisse citer est fourni par le câble du puits Campagne des charbonnages de Sacré-Madame. Ce câble, destiné à faire l'extraction à 800 mètres de profondeur, a 900 mètres de longueur. Il a 315/50 millim. au gros bout et 193/37 au petit bout. Son poids total est de 8.083 kilog., soit de 8k,98 en moyenne au mètre courant. La charge suspendue est de 6.500 kilog. dont 2.700 kilog. de poids utile. La charge est de 91 kilog. par centimètre quarré au petit bout et de 85 kilog. à la molette. Ce câble n'a coûté que 1 franc le kilog., et le fabricant a donné une garantie de 30 mois de durée, ou de 120.000 tonnes poids utile extrait. Si à ce câble en aloès décroissant, on avait voulu substituer un câble d'acier à section uniforme, de 115 kilog. de résistance à la rupture, le poids du câble n'eût pas été sensiblement différent, et on l'aurait payé environ 1f,85 le kilog. Si finalement on tient compte de ce que les câbles d'aloès plats permettent de mieux régulariser les efforts de la machine, on s'expliquera sans peine la préférence donnée à cette nature de câble.

Cette décroissance dans la fabrication du câble est obtenue en coupant successivement les fils de caret dans la machine ingénieuse et partout employée qui fait d'un seul coup non seulement le toron élémentaire, mais encore l'aussière : en sorte que partant du fil de caret qui est le premier élément de la fabrication, il ne reste plus, après cette machine, qu'à faire la couture des aussières pour obtenir le câble plat : cette couture se fait d'ailleurs partout à la main d'après les procédés ordinaires.

On admet généralement pour ces câbles une charge de

80 à 90 kilog. par centimètre carré de section apparente à l'enlevage, c'est-à-dire sur la molette, et de 100 kilog. à la patte : le câble de Campagne précité travaille même dans de meilleures conditions.

On estime que ces câbles peuvent tirer de 80 à 140.000 tonnes de poids utile de profondeurs comprises entre 400 à 650 mètres. On rencontre assez fréquemment une garantie d'extraction de 100 à 150.000 tonnes donnée par le fabricant, ou encore une garantie de durée de 18 à 30 mois et plus généralement de 18 à 24 mois.

Nous n'avons vu pratiquer que l'arrosage comme moyen d'entretien.

On a fait étudier aux mines de Sacré-Madame la confection d'un câble plat d'aloès capable de faire l'extraction à 1.000 mètres de profondeur, en tirant une charge de 7.200 kilog., dont 3.600 de poids utile. Les fabricants de câbles ont proposé un câble qui aurait 340/52 au gros bout et 210/32 au petit bout, de 10^{k},50 de poids moyen, au mètre courant; ils garantissaient ce câble pour une extraction de 120.000 tonnes ou une durée de 30 mois. D'après les données ci-dessus, le câble travaillerait à 107 kilog. par centimètre carré au petit bout et à 100 kilog. à l'élevage : conditions qu'on reconnaît admissibles. La charge de rupture est estimée à 650 kilog. par centimètre carré, en sorte que la charge de travail ne serait guère que le 1/6 de la charge de rupture.

Câbles en fer. — Les câbles en fer sont extrêmement rares en Belgique, en ce moment ils le sont peut-être même plus que les câbles en acier.

On emploie de préférence pour la fabrication des câbles en fer des fils de Comté de 2^{mm},2 à 2 millim. de diamètre pour lesquels on admet comme moyennes établies par de nombreux essais, des résistances à la rupture de 255 kilog. pour les premiers et de 225 pour les seconds, ce qui équi-

vaut respectivement à 66 et à 70 kilog. par millimètre carré.

On fait travailler les câbles au 1/7 de leur charge, en prenant pour résistance du câble à la rupture la somme de la résistance des fils, diminuée de 5 p. 100.

L'habitude qu'ont les exploitants belges d'employer des câbles plats en aloès fait que les quelques câbles en fer qu'on rencontre sont également plats. Leur petit nombre rendrait sans intérêt d'insister plus longuement ici à leur sujet.

Nous nous bornerons à rapporter une seule observation. On continue à employer le câble tant que sa résistance paraît encore suffisante et, à cet effet, en pratique, on fait le décompte des fils rompus ou usés dans la section la plus fatiguée, et il ne faut pas que ce nombre fasse arriver la charge de travail au 1/5 de la charge de rupture.

Câbles d'acier. — Les câbles d'acier employés en Belgique viennent tout faits de chez Felten et Guilleaume, de Cologne, ou sont fabriqués en Belgique avec des fils livrés par ces fabricants.

Bien que fort rares en Belgique, ils sont relativement plus nombreux que les câbles en fer. On trouve ces câbles en acier à Mariemont, Bascoup, au Poirier, à Bayemont et à Seraing.

Dans les nouvelles installations de la fosse Trézignies n° 5 de Mariemont et du siège Collard à Seraing, on trouve des câbles ronds; partout ailleurs on fait usage de câbles plats.

Tous les câbles que nous avons eu occasion de voir ou dont nous avons entendu parler sont faits en fil de $1^{mm},8$ à $2^{mm},2$, les uns avec le fil à résistance de 115 à 120 kilog. et les autres avec le fil plus dur à résistance de 130 à 140 kilog.

Le premier câble essayé à Bayemont (Charleroi) en 1874

était fait avec l'acier de ce dernier type. C'était un câble plat de 8 aussières, à 4 torons, à 9 fils de 1mm,8, de 900 mètres de longueur, avec âme en chanvre goudronné dans les torons, pesant 7k,45 le mètre courant. Il a fonctionné 15 mois et demi et a tiré 90.000 tonnes poids utile (hommes non compris) de la profondeur de 750 mètres. Il avait été garanti par les fabricants pour une durée minimum de 12 mois, avec amende de 1/24 de sa valeur par mois en moins : il avait coûté 2f,25 le kilog.

Un nouveau câble actuellement en service pour la profondeur de 772 mètres est à 8 aussières de 4 torons de 10 fils de 1mm,8, pesant 8k,30 le mètre courant, ayant 135 de largeur sur 18 millim. d'épaisseur. Il a été garanti par les fabricants pour une durée minimum de 12 mois, avec amende de 1/48 de sa valeur par mois en moins ; il a coûté 1f,85 le kilog. Le câble a déjà tiré 80.000 tonnes poids utile, non compris les hommes.

Ces câbles sont graissés une fois par semaine à la brosse avec un mélange de 1/3 d'huile de résine et 2/3 de goudron végétal.

Le câble rond d'acier du siège Collard à Seraing présente une disposition toute spéciale, qui donne au câble une flexibilité remarquable. Ce câble est formé par la réunion de 6 petits câbles commis ensemble, lesquels sont formés chacun par 5 torons de 6 fils de 2 millim. ainsi que le représente la *fig.* 7 de la Pl. X. Le but que s'étaient proposé les constructeurs était de disposer les fils de façon à ce qu'ils travaillassent tous plus uniformément. Dans le câble ordinaire à torons à double couronne, qui eût été nécessaire ici, on soutient que les fils de la couronne intérieure ne peuvent pas travailler dans les mêmes conditions que ceux de l'enveloppe extérieure, ce qui serait une cause d'infériorité pour ce câble. En fait, le premier câble formé, à Seraing, comme il vient d'être dit, a duré trois ans et extrait 185.000 tonnes de la profondeur de 530 mètres.

Quand il a été mis hors de service il présentait cette particularité que sur 6 des fils des petits câbles élémentaires, 3 étaient usés sur presque toute leur longueur, tandis que les 3 autres étaient à peu près intacts. On a généralement attribué ce fait à l'excès de flexibilité que présentait le câble : ce qui lui permettait de flotter ou pour mieux dire de *serpenter* sur les 50 mètres de distance qui séparent les molettes du tambour hélicoïdal. En tout cas, on a cru sage de fabriquer le second câble avec beaucoup moins de torsion. La longueur de spire est de 38 centim., au lieu de 31 que l'on trouvait dans le premier, c'est-à-dire que le pas d'hélice est de 2,5 au lieu de 2.

Les autres câbles en acier ne présentent aucune particularité qu'il y ait lieu de noter ici, d'autant plus que l'on peut dire que les câbles en acier sont plutôt encore en expérience aujourd'hui en Belgique qu'entrés dans la pratique courante.

Dans les anciennes installations où les câbles plats en acier ont remplacé des câbles plats en aloès, on a naturellement gardé les dispositions primitives, en sorte que l'on y trouve encore des molettes de $3^m,50$ de diamètre seulement, le diamètre minimum d'enroulement aux bobines étant toujours un peu supérieur.

Mais dans les installations récentes, comme celles de Mariemont et de Seraing, étudiées spécialement pour des câbles en acier, les molettes ont 5 et 6 mètres de diamètre et le diamètre d'enroulement minimum sur les bobines ou tambours ne descend pas au-dessous.

Les charges de service se calculent comme pour les câbles en fer (*).

On pourrait répéter ici pour le remplacement des câbles

(*) On notera ici que, d'un relevé fait sur 18 des principales installations belges, le rapport du poids utile au poids mort avec des cages contenant de 4 à 6 wagons de 450 à 500 kilog. de chargement varie de 1,08 à 1,79.

en acier l'observation faite relativement aux câbles en fer.

Attache des câbles. — On trouve en Belgique les deux modes d'attache classiques, qui consistent l'un à pincer le bout du câble dans un manche en fer, consolidé par des rivets, et l'autre à replier le câble sur lui-même, en formant boucle et en maintenant les deux parties accolées par des clames ou des ligatures. L'attache par repliement est peut-être même la plus répandue, tant pour les câbles plats que pour les câbles ronds en acier qui existent. On a soin seulement, dans un certain nombre de mines, de faire la boucle assez grande pour ne pas trop fatiguer le câble et à cet effet de maintenir la boucle suffisamment ouverte par l'interposition d'une croupière en fer.

Entretien. — Coupage à la patte et à l'enlevage. — On pratique généralement en Belgique, tant pour les câbles en aloès que pour les câbles métalliques, le coupage régulier de la patte. On coupe mensuellement ou toutes les deux ou trois semaines de 1 à 3 mètres du câble et on refait l'attache.

Une autre pratique recommandée et appliquée par quelques fabricants des plus réputés consiste à couper non pas la patte, mais la partie dite de l'*enlevage* comprise entre le dessous des molettes et la bobine. Ces fabricants font remarquer que c'est la partie qui fatigue le plus : on l'enlève et l'on épisse la partie verticale avec la réserve restée enroulée sur la bobine. Des épissures faites par les cordiers belges avec des machines *ad hoc* passent pour donner les mêmes garanties qu'un câble neuf.

Système de la garantie. — Dans toute la Belgique fonctionne un système de garantie donnée par le fabricant à l'exploitant. Suivant le puits et le câble, le fabricant garantit généralement une durée de tant de mois (de 18 à 30 habituellement, plus souvent de 18 à 24 pour les câbles en

aloès), ou de tant d'extraction, estimée généralement en poids utile sorti du puits. Si le câble n'a pas fait le service garanti, l'exploitant déduit par mois 1/12 ou 1/24 de la valeur du câble.

Les fabricants n'ont pas de règle bien précise pour ces garanties : la profondeur ne paraît pas jouer un rôle essentiel. On se guide d'après les circonstances spéciales au puits.

Surveillance. — On admet, en Belgique, que la seule surveillance sérieuse consiste à faire examiner chaque jour le câble attentivement par un employé spécial, en le faisant monter et descendre lentement, au moins une fois, sous ses yeux.

Outre cette serveillance par les employés de la mine, on en fait exercer une autre assez fréquemment par les contre-maîtres de l'usine qui a livré le câble. Le contre-maître cordier passe une fois par mois, quelquefois une fois par semaine, et consigne ses observations sur le *registre des câbles.* Quelquefois, comme dans certaines mines de Charleroi, la surveillance du câble est faite de la sorte, moyennant une somme de tant par mois, par de petits cordiers voisins, qui n'ont pas livré le câble, mais qui sont chargés de faire les menues réparations dont il pourrait avoir besoin.

Cette surveillance, pour ainsi dire continue, du câble par le cordier rend de réels services, lorsque le câble arrive près de sa fin et que la question se pose de savoir s'il y a lieu de le mettre hors. La contradiction entre les intérêts du cordier et celui de l'exploitant assure une appréciation raisonnée. En cas de désaccord entre eux on recourt assez fréquemment à une sorte d'arbitrage officieux par les officiers des mines.

Nous rappelons ici les observations faites à l'occasion des câbles en fer et en acier sur la pratique d'évaluer pour ainsi dire mathématiquement l'usure du câble au nombre de fils cassés.

Prescriptions réglementaires pour la circulation des ouvriers. — Dans le Hainaut, la circulation des ouvriers par les cages a été réglementée par un arrêté de la députation permanente du 5 août 1864, qui impose les dispositions suivantes :

Emploi d'un parachute et d'évite-molettes;

Le nombre d'ouvriers admis à chaque voyage et la vitesse maximum fixés par les officiers des mines;

Visite quotidienne par des préposés spéciaux;

Tenue d'un registre de câbles.

Ces prescriptions sont généralement bien observées, sauf en ce qui concerne la fixation du nombre d'hommes et la vitesse, où le plus souvent les officiers des mines laissent les exploitants faire eux-mêmes ce qu'ils jugent convenable, se réservant d'intervenir s'ils rencontraient quelque part un abus ou un danger. Le registre des câbles notamment est généralement tenu partout bien à jour : il est indispensable, du reste, dans les mines assez nombreuses où le fabricant a donné une garantie de tonnage, puisqu'il faut chaque jour noter soigneusement l'extraction en charbons et en terres.

Dans la province de Liège, il n'y a aucune prescription réglementaire sur l'emploi des câbles, même pour la circulation des ouvriers. C'est là particulièrement où nous avons vu des mines fort bien tenues qui descendent tout leur personnel par des câbles en aloès sans parachutes.

DEUXIÈME SECTION.

ANGLETERRE.

Aperçu statistique sur la nature des câbles employés en Angleterre. — On peut dire que les câbles en textiles ne sont plus connus aujourd'hui en Angleterre. A peine rencontrerait-on quelques câbles en chanvre dans des fon-

çages de peu d'importance faits au treuil. Les seuls câbles employés sont les câbles métalliques.

Parmi ceux-ci les câbles en acier dominent actuellement à ce point que, suivant certains grands fabricants, les câbles en fer ne seraient employés que dans la proportion de 1 p. 100 des câbles en acier. Il se peut que cette évaluation soit légèrement exagérée; nous pouvons dire toutefois que sur 18 installations, situées dans différents bassins dont nous avons pu relever en détail les conditions d'installation, nous en avons trouvé 15, soit près de 90 p. 100, armées de câbles en acier.

Les câbles plats sont relativement rares. Les câbles ronds sont en général employés avec des tambours cylindriques. Cependant, dans les grandes installations récentes de plus de 400 mètres de profondeur, on emploie des tambours coniques et, dans les plus étudiées, des tambours spiraloïdes. Les câbles sont généralement à section uniforme; les câbles décroissants sont extrêmement rares.

Des fils entrant dans la composition des câbles métalliques anglais. — On fait des câbles en fils de fer, en fils d'acier Bessemer et en fils d'acier fondu.

Les fils de fer sont des fils de fer au charbon de bois.

Les fils d'acier Bessemer, très rarement usités, sont en général assimilés aux fils de fer.

Les fils d'acier fondu sont de deux qualités : la qualité ordinaire, dite *acier fondu au creuset;* la supérieure, acier amélioré, acier *plough* (ou de charrue).

Le seul élément dont on se préoccupe, ou plus exactement qu'on mesure avec précision en Angleterre, est la résistance à la rupture.

Certains fabricants admettent comme *standard* de résistance, ou échelle de résistance des fils, les chiffres suivants de résistance par millimètre carré.

Fil de fer au charbon de bois.	67	kilog.
— d'acier Bessemer.	76	—
— — fondu au creuset	122	—
— — — *plough*.	183	—

En réalité, on détermine la résistance des fils en la rapportant non pas au numéro ou à la section, mais au poids par unité de longueur (à la livre par *fathom*). Ainsi l'on admet en pratique, chez tous les fabricants, que la résistance à la rupture par kilogramme de poids de mètre courant d'un câble métallique, quelles que soient sa composition et ses dimensions, est, suivant la nature de la matière qui le constitue :

Pour les fils de fer.	8.276	kilog.
— Bessemer.	9.293	—
— d'acier au creuset. . .	14.471	—
— — *plough*.	20.667	—

En prenant 7.788 pour la densité du fer et 7.840 pour celle de l'acier, ces chiffres correspondent à une résistance par millimètre carré :

Pour le fil de fer de.	65	kilog.
— d'acier Bessemer.	73	—
— — fondu au creuset.	114	—
— — — *plough* . . .	163	—

chiffres qui sont effectivement plus voisins de ceux généralement admis ou directement observés sur le continent que ceux précédemment cités.

En dehors de la résistance à la rupture, on ne se préoccupe que d'essayer à la main, plus ou moins grossièrement, la souplesse et la flexibilité des fils, en voyant combien de fois il faut ployer un fil sur lui-même à la main pour pouvoir le rompre. On ne s'occupe pas de l'allongement avant rupture, qui n'est jamais mesuré et qui est toujours assez faible, de 2,5 à 3,5 p. 100 au plus, mesuré sur

250 millim., d'après diverses expériences faites sur le continent.

Dimension des fils employés. — Les fils les plus fréquemment employés sont les n°s 11, 12 et 13 anglais (3 millim., $2^{mm},7$, $2^{mm},4$ de diamètre).

Le câble décroissant de Pemberton, dont il sera parlé ci-après, a à l'intérieur du n° 16 anglais ($1^{mm},6$) et à l'extérieur du n° 9 anglais ($3^{mm},9$).

En général, on emploie en Angleterre des fils de plus gros diamètre que sur le continent. Les diamètres d'enroulement sont, il est vrai, plus grands. On trouve rarement des diamètres inférieurs à $4^{m},50$, et ils s'élèvent jusqu'à $5^{m},50$ et 6 mètres dans les nouvelles installations.

Composition des câbles. — Les câbles plats ne présentent aucune différence avec ceux du continent.

Tous les câbles ronds sont faits avec 6 torons, avec âme en chanvre au centre du câble. Nous n'avons entendu citer comme câble à 7 torons que le câble décroissant de Pemberton. Chaque toron a de 6 à 19 fils, avec âme en chanvre ou en fil métallique. Les combinaisons les plus fréquentes sont de 6 fils avec âme en chanvre pour les petits câbles; de 18 fils avec âme en chanvre et de 19 fils avec âme en fil pour les gros câbles. Dans cette sorte de câble, les fils sont disposés en deux couronnes concentriques enroulées en sens inverse l'une de l'autre, l'une à l'intérieur de 6 fils et l'autre à l'extérieur de 12. Généralement pour ces gros câbles tous les fils sont de même numéro. Dans le câble de Pemberton, le toron a 12 fils, dont 6 du n° 16 ($1^{mm},6$), en âme au centre, et 6 du n° 9 ($3^{mm},9$) à l'extérieur.

Pour les câbles de plans inclinés la composition varie davantage. On en trouve de 3, 4, 5 et 6 torons de 4 à 19 fils.

Câble décroissant. — Le seul câble décroissant que nous ayons eu occasion de voir est le câble en acier rond de Pemberton (Lancashire), où l'on exploite à la profondeur de 576 mètres. Ce câble, de 663 mètres de longueur, a 32 millim. au petit bout et 41 au gros bout ; il est formé de 6 torons au petit bout et de 7 au gros bout, avec âme en chanvre dans le câble de 16 millim. de diamètre. Chaque toron est formé par 6 fils n° 16 angl. ($1^{mm},6$ de diam.), avec âme au centre, entourés de 6 fils n° 9 ($3^{mm},9$). Le poids total du câble est de 3.288 kilog., soit seulement un poids moyen de $4^{k},88$ au mètre courant.

La charge est de 4.986 kilog. dont :

Cage.	1.692	} 2.760
6 wagons vides à 178 kilog. . . .	1.068	
6 chargements à 371 kilog.		2.226
		4.986

le rapport du poids utile au poids mort étant de 1,24.

La charge, qui est de 10 kilog. par millimètre carré de section métallique au petit bout, est de $13^{k},8$ au gros bout.

Charge de service. — La pratique universellement admise en Angleterre de rapporter la résistance à la rupture au poids par unité de longueur revient implicitement à admettre à très peu près que la résistance du câble est la somme des résistances des fils qui le constituent.

La charge de rupture d'un câble étant ainsi déterminée, on admet que la charge de travail doit être le dixième de cette charge de rupture dans les puits verticaux et le septième dans les plans inclinés.

Les charges de rupture, et par suite de travail ainsi fixées, peuvent, en prenant pour unité le câble en fer, se classer ainsi qu'il suit :

Fer	1,00
Acier au creuset	1,74
— *plough*	2,49

Le poids suspendu est assez habituellement de 5.000 kilog. et va jusqu'à 7.815 kilog. Le rapport du poids utile au poids mort varie de 1 à 1,61 et est le plus fréquemment de 1,3 à 1,50.

Prix comparés des divers câbles métalliques. — On admet généralement qu'en prenant pour unité le prix du câble en fer, les prix des autres câbles, à égalité de poids, sont (*) :

Pour le fer	1,00
— l'acir au creuset	1,76
— — *plough*	2,88

Si l'on compare les prix aux résistances, la valeur serait relativement un peu supérieure pour les câbles en acier.

Mais, suivant les fabricants, on regagnerait plus que cette différence par un accroissement de durée, assertion qu'il ne nous a pas été possible de vérifier d'une façon positive. En tout cas il resterait toujours l'avantage d'une plus grande légèreté et, pour les câbles ronds, l'avantage de la diminution des dimensions.

(*) Voici quels étaient les prix, en septembre 1880, chez un des principaux fabricants, pour les gros câbles ronds de plus de 26 millim. de diamètre et pour les câbles plats de plus de 76 millim. de largeur, au kilogramme :

	RONDS.	PLATS.
	francs	francs
Fer	0,73	0,95
Acier au creuset	1,13	1,49
Acier *plough*	1,84	2,25

Pour les câbles de plus petites dimensions les prix sont supérieurs.

Attache des câbles. — L'attache par repliement est rare en Angleterre ; nous ne l'avons rencontrée que dans quelques câbles plats. L'attache est généralement faite par le système de la patte en fer maintenue par des clames.

Les parachutes ne sont employés que très exceptionnellement. On n'emploie également que très rarement des ressorts de traction attachés directement à la cage. Dans quelques mines les axes des molettes sont montés sur ressorts. A Harris' navigation (South-Wales) ces ressorts son formés par plusieurs plaques épaisses de caoutchouc posées sous les paliers qui reçoivent les tourillons des axes.

Réception des câbles par les exploitants. — Nous n'avons entendu parler nulle part, en Angleterre, d'essais préalables des câbles, ni même d'essais des fils par les exploitants qui s'en remettent entièrement, à cet égard, aux fabricants qui ont leur confiance. Tout au plus mentionne-t-on quelques essais plus ou moins grossiers faits à la main sur les fils, après des ruptures, pour vérifier si le métal n'était pas de mauvaise qualité.

Il y a du reste toujours entente préalable entre le fabricant et l'exploitant. Celui-ci ne commande pas un câble sans fixer à celui-là les conditions dans lesquelles il doit fonctionner et c'est sur ces données que le fabricant arrête sa composition.

Entretien et surveillance. — Les câbles sont l'objet d'une surveillance très attentive. Ils sont généralement examinés quotidiennement par un agent chargé de la surveillance du matériel, qui fait descendre et monter le câble lentement devant lui. Dans le pays de Galles, une ou deux fois la semaine, on nettoie à fond le câble pour pouvoir relever soigneusement les fils cassés : cette opération peut prendre de trois à quatre heures. Dans plusieurs mines on ne manque pas notamment de faire cet examen attentif du câble

toutes les fois qu'il a pu recevoir un coup de fouet anormal.

La pratique du coupage à la patte est assez fréquente : on y procède généralement tous les deux ou trois mois.

Dans quelques mines on retourne le câble bout pour bout à moitié de sa durée.

Les câbles sont tenus continuellement graissés avec le plus grand soin. On les graisse une fois par semaine au moins, à la brosse, soit avec un mélange de goudron végétal et d'huile, soit avec des huiles lourdes.

Durée et travail des câbles. — Les durées des câbles en acier que nous avons eu occasion de relever sont assez longues ; de deux ans en général, elles s'élèvent parfois à trois ans. C'est la durée notamment des câbles de Hoyland, qui tirent chacun 300 tonnes par jour de 465 mètres de profondeur. La durée précitée de deux ans correspondrait sensiblement à une extraction utile de 120 à 150.000 tonnes, hommes et matériaux non compris.

Nous n'avons pas pu nous procurer de renseignements précis sur la durée et le travail des câbles en fer.

Circulation du personnel. — En Angleterre, tous les ouvriers descendent ou remontent par les cages, sans qu'on semble prendre des précautions spéciales dans ce but. Les parachutes, comme on l'a dit, n'existent à peu près nulle part et l'on ne diminue pour ainsi dire pas la vitesse du mouvement, toujours grande et qui atteint habituellement 10 mètres par seconde.

Prescriptions administratives. — Elles sont assez vagues et ne s'appliquent pas plus spécialement aux câbles qu'aux autres installations des houillères. La 29e règle générale (*) de la loi du 10 août 1872 prescrit simplement l'examen quotidien du câble par une personne compétente à ce dé-

(*) On sait qu'on désigne sous ce nom en Angleterre les pres-

signée, en même temps que l'examen des « parties extérieures du mécanisme, du chevalement, des chantiers, des niveaux, des plans inclinés, des chaînes et des autres appareils en service dans la mine ».

L'agent qui a fait cet examen doit consigner les résultats de sa visite sur un registre à ce destiné, tenu au bureau de la mine. Les « *special rules* » des divers bassins (**) ne sont pas plus explicites sur ce point. Elles se bornent généralement à désigner la « personne compétente » qui aura à remplir les prescriptions de la loi ; c'est en général l'ingénieur mécanicien ou le chef mécanicien qui existe dans toute mine anglaise et qui est chargé de la surveillance de toutes les machines et appareils mécaniques. Sans doute, cette surveillance réelle du câble par un agent compétent était dans les coutumes, tout au moins dans les grandes mines, avant de passer dans la loi. Quoi qu'il en soit, il n'est pas douteux que ce ne soit là une excellente mesure et, bien que les inscriptions au registre spécial des visites ne soient généralement qu'une simple formalité, on ne serait peut-être pas fondé à dire qu'elle soit sans utilité.

Statistique des accidents par rupture de câbles. — Les rapports annuels si complets des inspecteurs royaux permettent de relever le nombre des ruptures de câbles ayant entraîné mort d'hommes. On peut résumer, dans le tableau suivant, cette statistique spéciale en ce qui concerne les houillères et mines assimilées (*) :

---

criptions techniques qui constituent l'article 51 de la loi, par opposition aux *special rules*, par lequel on désigne le règlement particulier que toute mine doit avoir et doit faire approuver par l'administration.

(**) On sait que toutes les mines d'un même bassin ou d'un même district ont, en général, les mêmes *special rules*.

(*) Il nous a paru inutile d'étendre cet examen aux mines métalliques, parce que, dans la plupart d'entre elles, le personnel ne

ANNÉES	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	TO
Nombre d'ouvriers au fond	»	»	»	407.808	428.611	427.017	409.229	395.025	382.979	315.179	
Nombre d'accidents	4	3	6	9	10	2	1	2	3	4	
Nombre de victimes	4	4	16	13	10	2	1	4	4	16	

Sans entrer dans une discussion détaillée de ces accidents, qui entraînerait beaucoup trop loin, cette statistique est bien de nature à montrer à quel degré de sécurité on peut arriver avec des câbles métalliques et particulièrement avec des câbles d'acier.

En effet, si l'on défalque des 44 accidents relatés dans le tableau qui précède tous ceux qui sont le résultat de fausses manœuvres ou qui sont survenus dans des circonstances anormales, telles que réparations, etc., ou dans lesquels le câble était arrivé à une usure complète, notoirement reconnue, avant l'accident, il n'en n'en reste pas plus d'une dizaine sur lesquels les rapports des inspecteurs ne se prononcent pas, qui pourraient donc être des ruptures plus ou moins inopinées. Sur ce nombre il n'y a que 2 accidents, survenus en 1879, qui aient une réelle importance, en ce sens qu'ils sont arrivés pendant la circulation normale du personnel. Mais dans l'un d'eux, où 6 personnes ont péri, le câble en fer plat qui s'est rompu, avait cinq ans de ser-

circule pas normalement par les câbles. Voici au reste le résumé de la statistique des sept dernières années pour ces mines :

ANNÉES	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	TOTAUX.
Nombre d'ouvriers au fond	34.036	37.378	34.905	34.109	34.095	30.624	28.265	237.412
Nombre d'accidents	»	»	3	»	»	»	1	4
Nombre de victimes	»	»	5	»	»	»	1	6

vice et il est dit qu'il était notoirement usé. Dans l'autre, où 8 ouvriers ont été tués, il serait plus juste de chercher la cause de l'accident dans un défaut du guidage en câbles, qui permît aux deux cages de se heurter, que dans le câble lui-même.

On voit finalement à combien peu se réduisent les accidents de personnes par rupture de câbles métalliques et particulièrement de câbles en acier dans une contrée où l'on fait circuler normalement par les câbles un personnel aussi nombreux que celui porté dans le tableau précédent, et cela sans l'emploi de parachutes.

Les statistiques anglaises justifient donc, dans une certaine limite, ce propos qu'on vous répète volontiers en Angleterre, que les câbles métalliques, pas plus ceux en acier que ceux en fer, ne rompent jamais. Elles justifient complètement, en tous cas, cette opinion assez répandue que, pour la circulation du personnel, de bons câbles, bien surveillés, avec de bons mécaniciens, valent mieux que tout appareil de sûreté sur lequel on s'endort.

Motifs de l'excellent service fait par les câbles métalliques en Angleterre. — Si l'on cherche à se rendre compte des raisons qui expliquent les excellents résultats obtenus, tant au point de vue de la sécurité qu'à celui de la durée, par les câbles métalliques en Angleterre et plus spécialement par les câbles en acier, il semble qu'on peut les résumer ainsi :

1°) Une fabrication soignée faite avec des fils choisis de bonne qualité ;

2°) Une surveillance effective très sérieuse faite sur les mines par un agent compétent ;

3°) Un entretien soigné, les câbles étant toujours tenus très bien graissés ;

4°) L'emploi de très grands diamètres d'enroulement tant pour les molettes que pour les tambours et bobines ;

5°) L'aménagement général des exploitations, qui est tel que chaque cage ne dessert jamais qu'un étage, en sorte que le câble peut rester toujours tendu;

6°) L'habileté des mécaniciens qui, profitant de cette disposition, arrivent à tenir le câble toujours tendu.

Sauf la disposition des accrochages, on ne voit pas là de points où l'on ne puisse arriver en France à d'aussi bons résultats qu'en Angleterre.

Observations sur les guidages en câbles. — Les guidages en fils de fer sont très usités en Angleterre, même à de grandes profondeurs. Nous les avons trouvés appliqués à des puits de 465 mètres de profondeur à Hoyland (Yorshire), qui extrayent quotidiennement 60 otonnes (voir la *fig.* 8), et nous savons qu'ils sont employés dans quelques puits du Lancashire qui ont légèrement dépassé 700 mètres de profondeur.

Il y a généralement 3 à 4 guides par cage : les guides sont formés par quelques fils de très gros diamètres (19 à 32 millim.). Ainsi à Hindley, puits du Lancashire ouest, de 329 mètres de profondeur, le guide avait 59 millim. de diamètre et était formé de 8 fils de 19 millim. de diamètre.

Dans quelques installations, comme à Risca et Celynen dans le sud du pays de Galles, les guides du câble extérieur guident seuls par une main; sur ceux intérieurs qui sont communs aux deux cages, les cages ne font que glisser de telle sorte qu'elles ne sont séparées que par l'épaisseur du guide (V. Pl. X, *fig.* 9).

On marche aussi vite dans ces puits guidés en câbles que dans les autres : les vitesses de 10 mètres à la seconde ne sont pas rares.

TROISIÈME SECTION.

ALLEMAGNE (*).

Aperçu sommaire sur la nature des câbles employés en Allemagne.— Les câbles en textiles, bien que relativement un peu plus nombreux qu'en Angleterre, ne sont employés qu'exceptionnellement dans les houillères de la Saxe royale, de la Ruhr et de Sarrebrück. On n'y fait pour ainsi dire usage que de câbles métalliques. Depuis quelques années les câbles en fer tendent de plus en plus à disparaître devant les câbles en acier. Il suffit de jeter les yeux sur les tableaux qui résument les statistiques des câbles de la Ruhret de Sarrebrück, que l'on trouvera page 90, pour voir cette transformation bien nettement accusée par des chiffres. Alors qu'en 1872 les câbles d'acier étaient encore à peine employés, ils ont en 1879 à peu près complètement remplacé les câbles en fer dans les câbles plats; pour les câbles ronds, il y a moyennement dans la Ruhr deux fois plus de câbles d'acier que de câbles en fer.

Cette substitution de l'acier au fer est d'autant plus remarquable que, sauf dans la Saxe royale, la profondeur des exploitations n'était pas de nature à exiger des câbles relativement plus légers.

En effet, si dans la Saxe royale, la profondeur des exploitations est moyennement de 500 à 600 mètres, elle n'est guère que de 250 à 350 pour tous les puits de la Ruhr et de 200 à Sarrebrück. Dans la Ruhr il n'y a que cinq à six puits qui aient plus de 350 mètres; leur profondeur est de 450 mètres environ. A Sarrebrück peu de

(*) Les renseignements techniques contenus dans cette troisième section se rapportent plus spécialement aux houillères de la Saxe royale, de la Ruhr et de Sarrebrück, seules régions qui aient été visitées par la mission envoyée par la commission du grisou.

puits dépassent 250 mètres; quatre seulement, situés dans des positions exceptionnelles, ont 500 et 600 mètres.

Si, dans ces conditions, l'acier a été si rapidement préféré au fer, c'est que les exploitants y ont trouvé à la fois plus d'économie à tous égards et plus de sécurité. Des statistiques très sérieuses, portant dans le Ruhr sur un assez grand nombre d'années et de câbles, justifient complètement cette assertion. La pratique allemande confirme donc, et avec plus de précision encore, la pratique anglaise.

Il est certainement curieux de rapprocher des habitudes de ces deux pays celles de la Belgique : là, l'acier est préconisé pour toute profondeur à l'exclusion de toute autre substance; ici, l'aloès. Un des motifs certainement de ces différences si tranchées est le suivant : l'emploi du câble d'acier en Allemagne et en Angleterre vient de l'habileté avec laquelle on a su dans ces deux pays, où de tout temps le travail de l'acier a été classique, fabriquer des fils d'acier d'excellente qualité, suffisamment homogènes et ayant les qualités requises pour faire un bon câble. En Belgique, au contraire, où le travail du chanvre a été toujours une spécialité des Flandres, on a amené le travail de l'aloès et la fabrication des câbles en aloès à un rare degré de perfection. On n'insistera pas davantage sur ces considérations qui, malgré leur intérêt, entraîneraient beaucoup plus loin.

Des câbles en textiles. — L'abandon à peu près complet de ces câbles ôte tout intérêt aux renseignements qu'on pourrait donner sur leur compte, surtout après les renseignements fournis à l'occasion de la Belgique.

Aussi bien, presque tous les câbles d'aloès que l'on rencontre encore dans la Ruhr viennent de Belgique.

Nous nous bornerons à rappeler qu'une circulaire du 11 septembre 1870, de l'*Oberbergamt* (administration supé-

rieure des mines d'un district administratif), de Dortmund, duquel dépendent toutes les houillères de la Ruhr, avait fixé les charges de service des câbles en textiles par centimètre carré : à 110 kilog. pour l'aloès non goudronné, 88 kilog. pour l'aloès goudronné; 95 kilog. pour le chanvre non goudronné et 76 kilog. pour le chanvre goudronné. L'*Oberbergamt* admettait aussi l'emploi des formules suivantes, où P est la charge en kilogrammes et G le poids d'un mètre courant du câble :

$$P = 942{,}0G \text{ pour l'aloès,}$$
$$P = 985{,}5G \text{ pour le chanvre,}$$

étant entendu que si l'aloès ou le chanvre étaient goudronnés, il faudrait remplacer G dans ces formules par 0,84 G.

Essais des fils métalliques entrant dans la composition des câbles. — Les essais des fils métalliques entrant dans la composition des câbles sont classiques dans toute l'Allemagne, et l'on n'est pas éloigné de croire qu'ils suffisent, si on les fait avec assez de soin et de méthode, pour renseigner sur la valeur réelle des fils.

Ces essais portent :

1° Sur la résistance à la rupture; 2° sur l'allongement à la rupture; 3° sur la flexibilité; 4° sur la torsion.

Ils se font avec plus ou moins de régularité et de suite, tant chez les fabricants que sur les mines.

Pour les essais à la traction, et notamment pour l'évaluation de la résistance à la rupture, on trouve en usage un très grand nombre de machines plus ou moins rudimentaires, en dehors de la machine Thomasset à colonne de mercure, qui est employée par quelques fabricants. Sans parler des appareils suffisamment connus où l'effort de la traction se transmet et se mesure par un dynamo-

mètre, on trouve deux appareils qu'il peut y avoir intérêt à mentionner ici.

L'appareil employé aux mines de Burgk du bassin de Plauen, près Dresde, se compose (*fig.* 1 et 2, Pl. X) de deux mâchoires automatiques accrochées, l'une A à un support fixe, l'autre B à un levier qui tourne autour de l'axe *a*. On met le fil en charge, et l'on détermine sa rupture en faisant glisser le poids *p* sur l'autre bras du levier. Comme on peut savoir approximativement à l'avance la charge de rupture, les choses peuvent être disposées de façon que la rupture n'ait lieu que lorsque le levier est sensiblement horizontal, et, par suite, la graduation marquée sur le levier, dans cette hypothèse, donne immédiatement la charge de rupture avec une suffisante précision.

La machine employée chez Felten et Guilleaume, les célèbres fabricants de fils et de câbles de Cologne, consiste (*fig.* 4, Pl. X) en deux rouleaux A et B de 10 centimètres de diamètre sur lesquels on fixe horizontalement le fil à essayer par des mâchoires à vis de pression, en α sur A et en β sur B. L'effort de traction est transmis horizontalement sur l'axe de A, dans le plan des axes de A et de B, par une manivelle et une vis sans fin. Le rouleau B soulève le contrepoids D d'une quantité proportionnelle à l'effort exercé, qu'une graduation appropriée donne immédiatement.

Sauf chez Felten et Guilleaume, où les allongements sont lus sur une graduation dans une machine analogue à celle employée pour mesurer les résistances, on se contente généralement ailleurs de mesurer après coup les allongements d'après la course des supports. Parfois même on ne les mesure pas du tout, beaucoup attachant moins d'importance à l'allongement qu'à la résistance. Quand on les mesure, les allongements sont évalués sur des longueurs de 200 ou 250 millim.

Au contraire, les essais de flexibilité sont tout à fait

classiques. On rencontre presque partout, pour les faire, une petite mâchoire mobile en acier, analogue à celle représentée (*fig.* 3, Pl. X), qu'on n'a plus qu'à serrer dans un étau. Les essais se font ainsi partout d'une façon parfaitement uniforme. Le congé de la mâchoire est de 5 millim. de rayon. On prend comme unité de flexion l'angle de 180°.

Les essais à la torsion sont plus rares et ne se font que chez certains fabricants, bien que beaucoup les considèrent comme étant les plus propres à renseigner sur l'homogénéité du fil.

Pour faire ces essais, chez Felten et Guilleaume, on prend une longueur de fil de 15 cent., dont une extrémité est placée dans une mâchoire fixe, et l'autre est montée sur un arbre qu'une petite manivelle à main fait tourner (*fig.* 5, Pl. X). Pour que la mâchoire mobile puisse suivre la progression due au raccourcissement du fil tordu, elle peut glisser librement sur l'arbre, tout en tournant avec lui, ce mouvement de progression étant réglé par l'action d'un ressort placé entre la mâchoire et la manivelle.

Fils de fer. — Les fils de fer employés pour la confection des câbles dans la Westphalie et à Sarrebrück sont en fer vendu comme fer au charbon de bois, provenant généralement de l'Eifel. Ce sont des fils dits *blank gezogen* ou *blank weich*. Après tréfilage, ils sont recuits pendant cinq à six heures, puis passés une dernière fois à la filière.

L'administration royale des mines de Sarrebrück a fixé, dans son cahier des charges, les conditions suivantes que doivent remplir les fils entrant dans la composition des câbles employés par elle.

Le fil doit avoir une résistance de 50 à 60 kilog. par millimètre carré et un allongement de 1 à 2 p. 100, mesuré sur 0m,20. Il doit subir sur la mâchoire de 5 millim. de rayon, un nombre de pliages à 180° variant suivant numéros, comme l'indique le tableau suivant :

NUMÉROS ANGLAIS	11	12	13	14	16	17 à 18
Nombre de pliages. . . .	4 à 6	5 à 7	5 à 7	7 à 8	8 à 9	10 à 12

Ces fils de fer recuits ont une résistance de 33 à 34 kilog. par millimètre carré et un allongement de 25 p. 100. Comparés à ceux généralement employés en France, tels que nos fils de fer de Comté ou de Berry, les fils de fer allemands sont plus souples, ont moins de résistance et un peu plus d'allongement.

Fils d'acier. — Les fils d'acier entrant dans la composition des câbles sont de provenance anglaise ou de provenance allemande.

Fils d'acier de Sarrebrück. — A Sarrebrück on fait usage de préférence de fils anglais, que l'on considère comme supérieurs aux fils allemands.

Les fils employés à Sarrebrück doivent, d'après le cahier des charges de l'administration royale, satisfaire aux conditions suivantes :

Les fils doivent être en acier fondu au creuset de deux qualités : l'une caractérisée par une résistance de 114 à 120 kilog. par millimètre carré, l'autre, dite acier dur, ayant une résistance de 130 kilog. par millimètre carré. L'allongement sur $0^{m},20$ doit être de 1 à 2 p. 100, le nombre de pliages, à 5 millim. de rayon, doit être, suivant numéros :

NUMÉROS ANGLAIS	11	12	13	14	16	17 à 18
Diamètre en millimètres.	3	2,8	2,5	2,2	1,6	1,2 à 1,4
Nombre de pliages. . . .	4 à 6	4 à 7	4 à 8	7 à 9	9 à 11	12 à 16

En fait les allongements sont supérieurs à ceux stipulés,

ils vont à 4 p. 100 pour l'acier doux et à 3 1/2 p. 100 pour l'acier dur.

Fils d'acier de la Westphalie. — C'est en Westphalie que l'on rencontre principalement les fils d'aciers allemands. Au début de l'emploi des câbles en acier, l'*Oberbergamt* de Dortmund avait donné une sorte de monopole à la maison Felten et Guilleaume de Cologne, parce que pendant quelques années les câbles en acier de cette maison étaient les seuls que l'administration acceptât comme susceptibles de résister à un effort de 115 kilog. par millimètre carré. Les câbles en acier d'autres provenances étaient traités comme des câbles en fer susceptibles de ne résister qu'à une charge de 56 kilog. par millimètre carré. Depuis, la mesure prise en faveur de Felten et Guilleaume s'est étendue à beaucoup d'autres fabricants, sinon même, en fait, à tous. En tout cas, Felten et Guilleaume restent encore les principaux fabricants de fils et de câbles.

On emploie, dans cette maison, pour la fabrication des câbles de mines, des fils de $1^{mm},5$ à 3 millim. de diamètre (*), ayant une résistance par millimètre carré de 120 à 130 kilog.

Il semble que là, comme chez beaucoup d'autres fabricants d'ailleurs, on n'attache pas une grande importance à l'allongement du fil, qui est généralement de 1 à 2 p. 100, mais que l'on peut livrer, si on le désire, par de simples procédés de fabrication, avec un allongement de 4 à

(*) MM. Felten et Guilleaume s'efforcent d'introduire en Allemagne une pratique, qui serait à tous égards excellente, pour la classification des fils. Au lieu de ces numérotages anglais et français où l'on risque d'autant plus de se perdre qu'ils sont inverses l'un de l'autre, MM. Felten et Guilleaume proposent un numérotage, pour ainsi dire décimal, basé uniquement sur le diamètre du fil en dixièmes de millimètre; ainsi le fil de $1^{mm},5$ serait du n° 15, le fil de $2^{mm},4$ du n° 24, celui de 3 millim. du n° 30. Il serait bien désirable que ces usages prévalussent dans tous les pays.

5 p. 100, sans modification très sensible de la résistance.

En dehors de la résistance, MM. Felten et Guilleaume n'attachent d'importance qu'à la flexibilité et à la souplesse.

Au pliage sur l'étau à 5 millim. de rayon, les fils de $1^{mm},5$ doivent donner 16 flexions de 180 degrés, et ceux de 3 millim., 6 ; à la torsion, les premiers doivent supporter 40 torsions et les seconds 20 sur une longueur de 15 centim. Il faut de plus que l'enroulement produit par la torsion montre, par la régularité des stries ou l'absence des boutons, qu'il n'y a pas de défaut dans le fil.

La souplesse n'est appréciée qu'à la main.

Prix et services comparés du fer et de l'acier. — Nous achèverons ces observations en rappelant que l'on estime généralement en Allemagne que le prix du câble d'acier n'est pas tout à fait le double de celui d'un câble en fer de force équivalente. La résistance de l'acier est, au contraire, d'un peu plus du double de celle du fer.

On s'explique par suite tout naturellement la préférence donnée à l'acier, d'autant plus que, d'après les statistiques officielles, les durées de l'un et de l'autre sont sensiblement les mêmes, un peu supérieures peut-être pour l'acier, et que l'acier paraît donner une sécurité plus grande.

Altération des fils par le service. — Cette question si controversée en France ne paraît pas l'être autant en Allemagne. L'*Oberbergamt* de Dortmund a consacré pour ainsi officiellement, par ses publications, le fait, mis en évidence du reste par les statistiques, que les fils métalliques devenaient aigres et cassants et perdaient leur flexibilité par l'usage. (Voir annexe I, circulaire de 1875 dudit *Oberbergamt*, p. 104.)

L'*Oberbergamt* ne s'est pas prononcé sur la diminution de résistance. Des exploitants qui ont l'habitude d'essayer

leurs fils d'une façon continue prétendent que cette diminution est certaine et peut aller jusqu'à 1/3 au bout d'une année. Ils disent avoir remplacé des câbles, qui avaient encore une bonne apparence extérieure, uniquement parce que les fils essayés isolément paraissaient dénoter une diminution de résistance anormale.

Forme et composition des câbles.

Généralités. — Qu'il s'agisse d'un câble en fer ou d'un câble en acier, plat ou rond, la composition de ce câble est une fonction des conditions de son établissement. On en est bien convaincu en Allemagne comme en Angleterre. Aussi, ici comme là, l'exploitant laisse le fabricant composer le câble pour le mieux, après lui avoir donné le détail de toutes les conditions de l'installation. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point important. Pour l'instant nous nous proposons de faire connaître les principaux types de câbles en acier usités en Allemagne. Les câbles en fer ne présentent pas grande différence de composition, si ce n'est que les fils employés ont généralement un plus gros diamètre et entrent par suite en moins grand nombre dans un toron.

Câbles d'acier plats. — *Saxe royale.* — On emploie de préférence pour les puits très profonds (600 à 700 mètres) de la Saxe royale des câbles d'acier plats à section uniforme : ils sont en fils n° 14 anglais (2^{mm},2 de diamètre), à 6 ou 7 aussières de 4 torons de 6 à 7 fils.

Westphalie. — En Westphalie, ces câbles sont composés en fils de 1,8 à 2 millim. de diamètre, de 6 à 8 aussières de 4 torons chacune, de 5, 6, 7 à 8 fils par toron avec une âme en chanvre dans le toron.

Câbles d'acier ronds. — *Westphalie.* — Les câbles d'acier ronds les plus généralement employés en Westphalie ont de 28 à 45 millim. de diamètre, avec des poids au mètre courant de 4 à 7 kilog. Ils sont habituellement formés de 6 à 7 torons, de 16 à 19 fils par toron en deux couronnes concentriques. Il y a une âme en chanvre dans le câble, plus rarement dans le toron, qui a habituellement 1, 2 ou 3 fils métalliques comme âme. Le plus souvent tous les fils sont de même numéro, mais parfois les fils intérieurs sont d'un plus petit diamètre. Les numéros des fils employés varient de $1^{mm},6$ et $1^{mm},5$ de diamètre jusqu'à $2^{mm},6$, les fils les plus employés sont ceux de 2 millim. et de $2^{mm},2$.

Sarrebrück. — Les gros câbles ronds de Sarrebrück sont analogues aux câbles à double couronne de la Westphalie. Les petits câbles ont 6 à 7 torons de 7 fils, dont 1 comme âme du toron; l'âme du câble est en chanvre.

Pas des hélices d'enroulement des fils et des torons. — Les statistiques allemandes donnent, pour chaque câble, la longueur de spire dans le toron et dans le câble; mais, comme elles ne donnent pas le diamètre du toron, il n'est pas possible d'en déduire, si ce n'est par un calcul incertain, le pas de l'hélice du fil dans le toron. On ne peut donc relever que l'enroulement du toron dans le câble.

Le pas de l'hélice ainsi considérée est fonction tout d'abord de toutes les variables qui servent à déterminer la composition du câble; il dépendra donc : du diamètre du fil, du nombre de fils par toron, du nombre de torons dans le câble. Le câble pourra être d'autant plus tordu que le fil sera plus fin, le toron et le câble respectivement de plus petit diamètre.

D'autre part on admet que, abstraction faite des éléments qui déterminent la composition du câble, il y aura

intérêt à tordre (*) davantage le câble, toutes choses égales d'ailleurs, lorsque les rayons d'enroulement seront plus petits, que les molettes seront plus hautes et plus éloiloignées des bobines et des tambours.

Aussi paraît-il difficile de tirer quelque règle des innombrables données fournies par les statistiques allemandes, tant sont complexes les éléments de la question. De plus, dans les mêmes conditions, certains constructeurs tordent leurs câbles plus que d'autres.

Nous nous bornerons donc à donner, à titre de renseignements, quelques exemples relatifs au pas du toron dans la câble:

Deux câbles d'un même constructeur, de 33 millim. de diamètre, à 7 torons de 19 fils de 2 millim., ont l'un un pas de 3,68 et l'autre de 2,23. Les éléments de l'installation dans les deux cas sont les suivants :

	mèt.	mèt.
Plus petit diamètre d'enroulement	2,51	4,70
Hauteur de la molette au-dessus de l'axe du tambour.	16,»	21,»
Distance de la molette à l'axe du tambour	34,»	21,»

Le câble d'un autre constructeur de 35 millim. de diamètre, à 7 torons de 19 fils de 2 millim., à peu près identique au précédent, a un pas de 2,36 avec les conditions suivantes:

	mèt.
Plus petit diamètre d'enroulement.	3,90
Hauteur de la molette au-dessus de l'axe du tambour. . . .	17,»
Distance de la molette à l'axe du tambour.	21,»

A Sarrebrück, on trouve que le pas du toron dans le câble varie, toutes choses égales d'ailleurs, de 2 pour les

(*) Nous rappelons que nous employons ici les mots « tordre » et « torsion » au figuré; on sait qu'en réalité un câble bien fabriqué est fait de telle sorte qu'il n'y a jamais torsion du fil ou du toron sur lui même.

gros câbles de 50 millim. de diamètre à 2,6 pour ceux de 17 millim.

Câbles décroissants. — Les câbles décroissants sont assez rares en Allemagne; il est vrai que, sauf en Saxe, les profondeurs actuelles, comme on l'a dit ci-dessus, ne nécessitent pas beaucoup d'y recourir. Nous mentionnerons ici, à titre d'exemple, l'un des plus beaux câbles ronds qui existent actuellement en Allemagne. C'est celui de la nouvelle installation de Camphausen, à Sarrebrück, si remarquable d'ailleurs à tant d'autres titres.

Le câble, de 630 mètres de longueur totale, est en deux parties de section uniforme chacune ayant, la partie inférieure 380 mètres et la partie supérieure 250 mètres de longueur. Chacune de ces parties a la composition indiquée dans le tableau suivant qui montre immédiatement comment a été obtenue la décroissance :

CABLE.	DIAMÈTRE.	POIDS par mètre courant.	NOMBRE de torons.	COMPOSITION d'un toron.	PAS de l'hélice	
					du fil dans le toron.	du toron.
	millim.	kilog.	(a)	mm.		
Partie supérieure. .	53	8,70	8	7 fils de 2,5 12 — de 2,8	5,26	5,26
— inférieure . .	49	7,80	8	6 — de 2,5 11 — de 2,8	2,37	2.37

OBSERVATIONS.

(a) Les torons sont à double couronne; les fils du plus petit diamètre à l'intérieur, âmes en chanvre dans les torons et les câbles.

La charge sur les molettes est de 11,482 kilos se décomposant ainsi :

Cage et charge.	7.300	kilog.
380 mètres à $7^k,80$.	2.964	—
140 — à $8^k,70$.	1.218	—
	11.482	kilog.

La résistance à la rupture, directement observée à la machine à essayer des mines royales de Sarrebrück, est de 98.476 kilog. : d'où il résulte que le coefficient de sécurité est de $\frac{1}{8,57}$.

Le poids suspendu au petit bout se décompose ainsi :

Poids mort.	Cage.	2.500 kilog.	4.300 kilog.
	6 wagons à 300 kilog. =	1.800 —	
Poids utile.	6 charges à 500 kilog. . . . . =		3.000 —
			7.300 kilog.

vec un rapport du poids mort au poids utile de 1,433.

Relation entre la résistance du câble et la somme des résistances des fils. — On admet, en Allemagne, que, pratiquement, la somme des résistances des fils donne la résistance du câble. En Westphalie, l'usage est de calculer ces résistances en prenant pour résistance à la rupture des fils de fer 56 kilog. par millimètre carré et des fils d'acier ordinaire 115 kilog., chiffres qui se rapprochent très sensiblement de ceux qui donneraient la résistance réelle moyenne des fils, mais qui leur sont pourtant un peu inférieurs. La résistance réelle des câbles, dans toutes les expériences faites à cet égard, a généralement été trouvée légèrement supérieure à la résistance calculée sur ces bases. Le fait se trouve notamment établi par les nombreuses expériences exécutées dans ces dernières années à la machine à essayer les câbles de l'administration royale des mines de Sarrebrück.

Composition des charges de service. — Sans entrer ici dans des détails inutiles, nous nous bornerons à indiquer que les charges de 4 à 5,000 kilos (poids total) sont assez fréquentes dans les grandes installations, et nous mentionnions ci-dessus celle de Camphausen, qui s'élève à 7.300.

Le rapport entre le poids mort et le poids utile est extrêmement variable; avec un même poids total de 4,500 kilog. par exemple, il varie depuis 1,25 jusqu'à 3,5. Le rapport qui paraît être le plus fréquent est 2.

Dans beaucoup de mines, tant de la Westphalie que de Sarrebrück, on a cherché et l'on a obtenu une notable diminution du poids mort, tout en conservant le même poids utile et les mêmes dispositions, par la seule substitution de l'acier Bessemer au fer dans la construction des cages.

En voici, entre autres, un exemple bien frappant pris à l'Albertschacht de la houillère royale de Gerhard Prinz Wilhem (Sarrebrück). On avait autrefois :

Cage	2.200	2.950
2 wagons à 325	750	
2 chargements à 500		1.000
		3.950

Soit un rapport de 2,95.

On a aujourd'hui :

Cage	900	1.650
2 wagons à 325	750	
2 chargements à 500		1.000
		2.650

Soit un rapport de 1,65.

Coefficient de sécurité ou rapport de la charge de service à la charge de rupture. — Il paraît ressortir de l'ensemble des statistiques allemandes que le rapport admis entre la charge de service et la charge de rupture, calculée comme il a été dit ci-dessus, est le plus habituellement de 1/8 à 1/9. Ce rapport est assez souvent dépassé dans les câbles en acier, surtout dans les câbles d'acier plat, qui ne travaillent fréquemment qu'à 1/10 ou même 1/12 de la charge de rupture. Au contraire, beaucoup de câbles en fer de la Westphalie et surtout de câbles ronds, travaillent au 1/6 et même au-dessous. Il est très vraisemblable que cette

différence est un des motifs qui, dans la statistique, fait ressortir une infériorité des câbles en fer sur les câbles en acier.

Diamètre d'enroulement. — Suivant une règle, qui a un certain crédit chez les principaux fabricants, les diamètres d'enroulement minima doivent être à peu près exclusivement fonction du diamètre du fil. Ils admettent assez volontiers que le diamètre d'enroulement minimum doit être de 2,000 fois celui du fil pour l'acier et de 1,000 fois pour le fer. Ces fabricants s'inquiètent peu du rapport entre le diamètre d'enroulement et le diamètre ou l'épaisseur du câble. Le numéro du fil étant convenablement choisi pour le diamètre d'enroulement donné, ils pensent qu'il suffit de donner au câble plus ou moins de flexibilité en le tordant plus ou moins, suivant que le diamètre d'enroulement est plus petit ou plus grand.

Certains fabricants, — qui n'emploient guère, il est vrai, que le fil n° 14 (2^{mm},2 de diamètre), — adoptent la règle que le diamètre minimum d'enroulement doit être de 100 fois le diamètre du câble : ils admettent toutefois qu'on pourrait prendre un rapport plus faible avec des fils de plus petit diamètre.

En fait, les diverses conditions ci-dessus indiquées sont généralement remplies pour les molettes et plus ou moins dépassées pour les tambours. Mais elles sont loin de l'être, en beaucoup de cas, pour le petit diamètre d'enroulement des câbles plats sur les bobines ; avec des câbles en fil d'acier de 2 millim. de diamètre, nous avons relevé des diamètres d'enroulement de 1^{m},70 seulement, là où il aurait fallu 4 mètres au moins.

Garniture des molettes. — Les avis sont partagés. En Westphalie on préconise la garniture en bois de toute molette pour câble métallique, surtout pour câbles en acier.

A Sarrebrück on paraît croire qu'il suffit qu'elles soient tournées.

Angle des deux brins du câble. — On ne paraît pas beaucoup se préoccuper de l'influence que peuvent avoir la hauteur des molettes et leur distance aux tambours et bobines. Toutefois, comme on l'a déjà dit, les fabricants soigneux admettent que la fabrication du câble doit être faite en raison des conditions où le câble doit travailler. S'il y a une grande distance entre la molette et le tambour, il faut donner au câble de la raideur par une moindre torsion : ce qui entraîne par suite à avoir relativement de plus grands diamètres d'enroulement. On a attribué en Allemagne l'usure survenue au câble Marie Collard de Seraing (V. p. 53), à ce que l'on a méconnu cette règle, en le tordant trop, alors que la distance de 50 mètres entre les molettes et le tambour rendait un câble un peu raide préférable à un câble trop flexible.

Mode d'attache des câbles. — On recommande lorsqu'on emploie le mode d'attache par repliement du câble sur lui-même, qui est pour le moins aussi fréquent que l'attache par *patte* ou *manche* en fer, d'avoir soin de faire la boucle d'aussi grand diamètre que possible, surtout avec les câbles d'acier. A cet effet on replie le câble sur un disque en bois qui reste pris dans la boucle, et l'on recouvre le bas de la patte ainsi faite d'une couverte en tôle, qu'on puisse ouvrir aisément pour les visites, le but de cette couverture étant d'écarter l'eau de la patte.

Pour éviter le repliement du câble à son extrémité inférieure, on a fait usage en Saxe royale de la disposition représentée *fig.* 6 : la cage est suspendue par une chaîne qui s'adapte à la chape de l'anneau de suspension de la patte par un piton tournant *a*; de plus l'anneau de suspension est guidé par deux guides *g*.

Ressorts de suspension. — Les ressorts de suspension interposés entre la cage et le câble sont très recommandés en Allemagne ; mais généralement on paraît se contenter du ressort du parachute, dont toutes les cages sont munies, presque sans exception.

Entretien des câbles.

Graissage. — On graisse les câbles plus ou moins fréquemment et généralement avec une graisse spéciale dite *seilschmiere* (graisse de câble), fabriquée à cet effet à Halle et dans les environs. C'est un mélange d'huile et de graisse végétale ou minérale. On estime qu'une bonne graisse ne doit pas être acide, doit être moins fluide que l'huile et moins dure que le goudron.

Coupage de la patte. — Le coupage de la patte est une recommandation classique en Allemagne, souvent répétée dans les instructions de l'*Oberbergamt* de Dortmund, qui estime qu'il y a lieu de le faire tous les trois ou quatre mois au moins : des fabricants conseillent de la faire et des exploitants la font plus fréquemment, quelques-uns toutes les six semaines.

L'*Oberbergamt* de Dortmund conseille de couper à chaque fois 3 à 4 mètres de câble.

Surveillance des câbles.

En dehors des mesures ordinaires prises pour la surveillance d'un câble en service, faite en Allemagne comme elle se fait généralement ailleurs, beaucoup de mines ont l'habitude de suivre la fatigue graduelle du câble par des essais méthodiques, exécutés sur les fils de la partie régulièrement coupée à la patte. En général on se contente d'essayer la résistance des fils à la traction, soit directement

par des poids, soit avec l'un des petits appareils susmentionnés, et leur flexibilité dans la classique petite mâchoire d'acier.

On tient assez généralement dans toute exploitation importante un registre de câbles, où l'on inscrit non pas seulement le détail du service fait par chaque câble, mais encore les résultats des expériences successives sur la résistance à la traction et la flexibilité faites sur les fils isolés.

En outre, en Westphalie, la plupart des mines fournissent les documents avec lesquels l'administration dresse les statistiques annuelles dont il sera parlé ultérieurement.

Conditions de réception des câbles par les exploitants.

L'administration des houillères royales de Sarrebrüc est seule, croyons-nous, parmi les exploitants, à imposer des conditions spéciales pour la fourniture des câbles qu'elle emploie.

Elle impose à son fournisseur un cahier des charges, qui stipule les conditions de résistance et d'allongement à la traction et les conditions de flexibilité, que doivent supporter les fils à employer, conditions que nous avons eu occasion de reproduire en détail ci-dessus, en traitant de la nature des fils métalliques (p. 72 et p. 73).

En outre le fabricant garantit le câble pendant six semaines, c'est-à-dire que si, pendant cette durée, le câble doit être remplacé par suite d'un défaut dans la qualité ou la fabrication, le fabricant le remplace à ses frais.

L'administration des houillères royales a d'ailleurs installé à Friederichsthal une machine à essayer, de la force de 100 tonnes, où l'on fait des essais sur tous les câbles livrés par le fabricant.

En Westphalie, les exploitants s'en remettent aux fabri-

cants qui leur inspirent une suffisante confiance, et se bornent, pour s'éclairer, à faire les essais ci-dessus mentionnés sur les fils isolés. Il faut reconnaître, il est vrai, que la publicité donnée aux statistiques officielles de l'*Oberbergamt* est bien de nature à inciter les fabricants à soigner le plus possible leur fabrication. Les noms des fournisseurs figurant dans ces statistiques, ceux dont les câbles feraient un trop mauvais service seraient bien vite connus du public qui les abandonnerait.

Circulation du personnel par les câbles.

Il est admis en Prusse que, par application des articles 197 et 198 de la loi des mines de 1865, la circulation du personnel par les câbles ne peut avoir lieu qu'après en avoir demandé et obtenu la permission de l'*Oberbergamt*.

Il est peu de matières sur lesquelles l'administration des mines prussienne se soit montrée plus formaliste et soit intervenue avec un plus grand luxe de réglementation.

L'exploitant qui veut faire circuler son personnel par les câbles, doit, dans sa demande à l'administration, donner les détails les plus minutieux, non seulement sur la composition du câble, mais encore sur toute l'installation du puits, machine, tambour, molettes, cage, etc., guidage, signaux, éclairage, etc., comme on peut le voir à l'annexe II, qui contient le modèle des renseignements à fournir dans l'*Oberbergamt* de Dortmund (p. 104).

Cette déclaration est vérifiée par le *Revierbeamte* (officier des mines du premier degré), qui doit s'assurer du bon état et du degré de sécurité de toutes choses.

Sur son rapport, l'autorisation est accordée, s'il y a lieu, par l'*Oberbergamt* dans une décision minutieusement détaillée, dont on trouvera des types pour les *Oberbergämter* de Dortmund et de Bonn dans les annexes III et

IV : nous nous bornerons à signaler ici les points les plus intéressants, en dehors de ceux qui ne sont que des simples mesures d'ordre ou de discipline du personnel.

Tout autre service est interdit dans le compartiment du puits où se fait la circulation du personnel.

Une visite minutieuse et attentive doit être faite chaque matin avant toute circulation du personnel.

On ne peut employer de câbles épissés.

La charge en personnel est fixée par l'administration, qui a pour habitude, dans ces sortes de calcul, de prendre une charge de travail qui soit tout au plus le 1/12 de la charge de rupture.

L'administration fixe également la vitesse maximum, pour laquelle elle n'accepte généralement que la moitié au plus de la vitesse habituelle : une vitesse de 4 mètres par seconde dans l'ascension du personnel est regardée comme étant déjà considérable.

Les mécaniciens doivent être agréés à ce titre par les officiers des mines.

La machine doit être munie d'un appareil indiquant exactement la situation des cages dans le puits et d'un frein que le mécanicien puisse actionner tant pendant le mouvement que pendant l'arrêt de la machine.

La décision vise d'ailleurs *ipso facto* et *ne varietur* la description détaillée faite par l'exploitant dans sa demande.

En fait, la totalité du personnel des houillères de la Westphalie (environ 85.000 ouvriers du fond) entre et sort à peu près exclusivement par les cages. Il en est de même pour toutes les exploitations profondes de la Saxe royale, c'est-à-dire pour la majeure partie des mines de ce pays, et pour la majorité du personnel de Sarrebrück.

Statistiques des câbles et des ruptures de câbles.

Organisation de la statistique de la Westphalie. — L'*Oberbergamt* de Dortmund a inauguré en 1872 une pratique extrêmement utile. Sans en donner positivement l'ordre aux exploitants de son ressort, on les a engagés, toutes les fois que, pour une cause quelconque, un câble d'extraction serait enlevé des poulies, à adresser à l'administration un bulletin de renseignements contenant la réponse à 43 questions que l'on trouvera reproduites à l'annexe V. C'est la description détaillée du câble, de son installation, l'historique de son service et de sa fin et, par suite, de sa rupture, le cas échéant.

Les exploitants ont répondu avec empressement à ce désir, et à peu près toutes les exploitations un peu importantes de la Westphalie envoient régulièrement les renseignements demandés.

Chaque année ces renseignements sont autographiés en totalité dans des tableaux qui n'ont que l'inconvénient d'être fort peu maniables. Les tableaux sont distribués à toutes les mines qui envoient leurs renseignements et aux fabricants, et ils sont distribués assez libéralement en dehors de ce cercle d'intéressés.

Dans ces tableaux, tous les câbles mis hors dans l'année sont classés par catégorie de forme et de nature (plats et ronds, en fer, en acier et en aloès) et dans chacune de ces catégories par fabricant.

Deux tableaux spéciaux, séparés des grands tableaux d'ensemble, donnent chaque année : l'un, pour tous les câbles mis hors, la durée et le travail utile effectué ; l'autre, un récit circonstancié, mais sommaire, de toutes les ruptures survenues en service. Dans ces deux tableaux, le classement est toujours fait, comme dans les grands tableaux d'ensemble, par catégorie et par fabricant.

A l'un de ces états résumés se trouve annexé un tableau général de la statistique depuis son origine.

L'*Oberbergamt* accompagne fréquemment ces tableaux des recommandations et instructions que le dépouillement de la statistique lui fait paraître utile.

C'est ainsi que la statistique de 1875 a été accompagnée des excellents conseils dont nous avons reproduit un extrait dans l'annexe I. C'est un résumé substantiel des principales mesures à prendre pour la sécurité dans l'emploi des câbles.

Statistique de Sarrebrück. — Les résultats, directs et indirects, donnés par cette statistique de Dortmund ont paru assez sérieux pour que l'administration des mines royales de Sarrebrück ait cru devoir l'organiser pour elle-même depuis 1877 : quelques petits changements de peu d'importance ont été apportés aux données à fournir, au nombre de 46. On en trouvera la nomenclature à l'annexe VI.

Depuis 1879, ces tableaux, d'abord autographiés comme ceux de Dortmund et aussi incommodes à consulter, sont imprimés et bien plus maniables.

Résultats des statistiques. — Les conséquences diverses qui découlent de ces statistiques et qui constituent les conclusions positives de la question des câbles en Allemagne ont trop d'intérêt pour que nous reproduisions pas ici les tableaux qui les résument.

I. — Westphalie.

ANNÉES.	NOMBRE des câbles compris dans la statistique.	CABLES PLATS.				CABLES ronds.		NOMBRE des ruptures subites en service.	
		Acier.	Fer.	Aloès.	Chanvre.	Acier.	Fer.	Total.	P. 100.
1872	114	1	28	4	1	6	69	22	19,30
1873	156	1	26	9	»	23	97	22	14,10
1874	198	4	30	14	2	42	106	19	9,64
1875	226	8	23	5	4	74	112	19	8,40
1876	217	11	11	6	1	85	103	15	6,91
1877	178	17	10	3	»	81	67	16	8,98
1878	202	28	3	5	»	102	64	19	9,40
1879	172	23	3	3	»	99	44	9	5,23
	1.433	93	134	54	8	512	662	141	10 p. 100
		Nombre des ruptures.							
		10	16	6	»	26	83	141	
	ou p. 100	10,75	11,94	11,11	»	5,20	12,54		

II. — Mines royales de Sarrebrück.

ANNÉES.	NOMBRE de câbles.	CABLES PLATS.				CABLES RONDS.	
		Acier.	Fer.	Aloès.	Chanvre.	Acier.	Fer.
1877	113	4	6	2	2	11	83
1878	55	7	4	2	»	6	35
1879	58	8	2	2	»	12	34
	226	19	15	6	2	29	152
		Ruptures subites en service.					
1877	8	»	»	»	1	»	7
1878	1	»	»	»	»	»	1
1879	4	»	»	»	»	»	4
	13	»	»	»	1	»	12
	5,74 p. 100	»	»	»	»	»	7,89 p. 100

Conséquences des tableaux statistiques. — Si les statistiques de Sarrebrück ne paraissent pas suffisamment concluantes

comme portant sur un trop petit nombre d'années et sur un trop petit nombre de câbles, on ne peut faire ce reproche à la statistique de Westphalie, qui s'étend déjà sur 8 années et comprend la plupart des exploitations importantes du grand bassin de la Ruhr.

Un coup d'œil jeté sur ces statistiques suffit pour expliquer les idées qui ont actuellement cours en Allemagne sur cette question des câbles, en même temps qu'il montre clairement la transformation survenue depuis quelques années dans cette partie du matériel des mines.

En examinant spécialement la dernière colonne du tableau relatif à la Westphalie, on reconnaîtra l'influence directe qu'ont eue toutes les mesures adoptées par l'*Oberbergamt* de Dortmund pour diminuer le nombre des ruptures survenues en service. On s'explique que l'*Oberbergamt* montre ces résultats avec un certain orgueil, alors surtout que depuis 1876 il n'y a pas eu une seule rupture de câbles ayant entraîné mort d'homme dans un bassin où, comme nous l'avons dit, on fait circuler journellement par les câbles près de 85.000 ouvriers.

Si l'on voulait résumer d'un mot ces tableaux, on pourrait dire qu'ils affirment à tous égards la supériorité du câble d'acier, et principalement du câble d'acier rond, sur tous les autres câbles. Sans vouloir diminuer ce qu'il peut y avoir de vrai au fond dans ce fait, il ne faut pourtant pas perdre de vue que l'infériorité réelle des câbles en fer et particulièrement des câbles en fer ronds tient à certaines causes spéciales indiquées au cours de cette étude et notamment aux charges de service trop considérables sous lesquelles beaucoup d'entre eux ont à travailler.

Observations sur les ruptures de câbles en service. — Une étude détaillée des 170 ruptures de câbles (*) consignées

(*) Si l'on rapproche les chiffres officiels des ruptures survenues dans les deux bassins allemands dans ces dernières années de

dans les deux tableaux qui précèdent pourrait avoir quelque intérêt. Nous ne l'entreprendrons naturellement pas ici. Il nous suffira de rappeler quelques faits intéressants qui en résultent. Depuis 1876, comme nous l'avons dit, pas une de ces ruptures n'a eu lieu pendant la circulation du personnel : ce qui prouve l'efficacité des mesures prescrites et des pratiques admises pour la circulation du personnel. En dehors des ruptures résultant des fausses manœuvres, d'accidents, la plupart sont survenues à des câbles reconnus notoirement comme plus ou moins usés ou à des câbles relativement âgés déjà.

Durée et service des câbles. — Les statistiques allemandes donnent pour chaque câble, comme nous l'avons dit, sa durée et son service. Ces éléments sont si variables d'un câble à l'autre, par suite des conditions dans lesquelles il fonctionne, qu'il paraît impossible de tirer quelques données statistiques sérieuses de ces innombrables documents. Les moyennes notamment qu'on serait tenté d'en faire ressortir n'auraient aucune signification, puisqu'elles résulteraient de la comparaison de choses très différentes. Prises dans leur ensemble, on peut dire que les statistiques tendraient à montrer que les câbles plats ont une durée généralement moindre que les câbles ronds et que la durée des câbles ronds en fer et en acier est à peu près la même. Si, à titre de simple indication et sous les réserves précédemment faites, on veut citer des chiffres, on ne serait pas éloigné de la vérité en estimant la durée moyenne d'un câble, faisant un service normal, à 18 ou 20 mois pour les câbles ronds et à 13 ou 15 mois pour les câbles plats. Mais, on le répète, suivant les circonstances et les conditions du service, les statistiques montrent des câbles ne durant que six mois tandis que d'autres atteignent cinq ans.

---

celui qui résulterait de l'enquête faite en France, on voit combien de ruptures ont dû passer inaperçues chez nous ou ont été oubliées.

TROISIÈME PARTIE

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Nature et forme du câble. — Tous les faits recueillis paraissent suffisamment établir que, au seul point de vue de la sécurité, la nature d'un câble n'est pas, en principe, plus indiquée qu'une autre. On a souvent répété que les câbles en textiles étaient d'un emploi plus sûr que les câbles métalliques parce que les premiers *prévenaient* toujours avant leur rupture. Les faits mentionnés dans les deux premières parties montrent que cela n'est pas tout à fait exact. Les câbles en textiles, insuffisamment surveillés, peuvent se rompre inopinément tout comme les câbles métalliques : et pour beaucoup de ceux-ci, réputés s'être rompus inopinément, il est vraisemblable qu'une surveillance plus vigilante aurait reconnu à temps que le câble ne présentait plus des conditions suffisantes de sécurité.

En fait, il ne faut pas méconnaître que tout câble, quelle que soit sa nature, travaille dans des conditions dangereuses en ce sens qu'une fausse manœuvre, ou un incident anormal, l'exposent à être soumis à des efforts beaucoup plus considérables que ceux sur lesquels on pouvait raisonnablement compter.

Mais, en ce qui concerne spécialement la nature du câble, il serait plus juste de dire que les câbles métalliques, tant ceux en acier que ceux en fer, peuvent être employés avec autant de sécurité que les câbles en textiles, pourvu que l'on apporte dans la détermination, l'installation, l'entretien, la surveillance et le remplacement d'un câble les soins spéciaux que réclame sa nature propre.

Qu'il puisse être plus difficile de se procurer des câbles

métalliques de très bonne fabrication, ce n'est pas impossible pour certains pays; que leur emploi demande plus d'attention et plus de sévérité dans la surveillance, c'est vrai. Mais tout cela ne permet pas de dire qu'en principe l'emploi des câbles métalliques en fer ou en acier soit plus dangereux que l'emploi des câbles en textiles.

Toutefois, il y a certaines circonstances dans lesquelles il serait préférable à tous égards d'employer une nature de câbles plutôt qu'une autre. Ainsi dans les puits très humides, et notamment dans ceux à eaux acides, surtout si l'épuisement se fait à la benne, les câbles en aloès seront préférables. Dans des puits de retour d'air où la température serait tant soit peu élevée, on doit, au contraire, employer de préférence les câbles métalliques, bien que les âmes en chanvre de ces câbles présentent quelques inconvénients dans de pareils puits.

En dehors de ces circonstances spéciales, ce seront des conditions techniques et économiques plus qu'un motif de sécurité qui pourront faire décider du choix d'un câble, pour ne pas parler ici, bien entendu, de ce qui ne serait qu'affaire de mode sinon de routine.

Ainsi, si l'on est conduit à adopter un câble plat, il n'est pas douteux que, pour peu que la profondeur soit grande, le câble plat en textiles permet de mieux équilibrer le mouvement de la machine. Avec des câbles métalliques, la différence des rayons d'enroulement à l'arrivée et au départ n'est pas assez grande et la régularisation du mouvement de la machine ne pourrait s'obtenir qu'à l'aide de contrepoids difficilement applicables. C'est effectivement pour ce motif que, dans ces derniers temps, plusieurs mines françaises, à puits profonds, ont été amenées à substituer à leurs câbles plats en fer des câbles en aloès.

D'autre part, il n'est pas douteux qu'il est beaucoup plus difficile d'arriver à une bonne fabrication avec les câbles plats métalliques qu'avec les câbles ronds, en sorte que,

lorsqu'on le pourra, il conviendra de donner la préférence à ceux-ci sur ceux-là, sans compter que les câbles ronds permettent avec des tambours coniques ou spiraloïdes de régulariser très convenablement le mouvement de la machine.

Quant au choix à faire parmi les câbles métalliques, entre l'acier et le fer, la pratique de l'Allemagne et de l'Angleterre est de nature à montrer que les câbles en acier, faits avec un métal approprié et bien fabriqués, sont susceptibles de rendre, à tous égards, un meilleur service et paraissent même présenter plus de sécurité.

Mais, quelle que soit la nature du câble qu'on ait été amené à choisir, il faut que sa constitution, son installation et son mode d'emploi satisfassent à certaines conditions, les unes communes à tous les câbles, les autres variables suivant leur nature, dont on va ci-dessous rappeler les principales.

Bien des inconvénients attribués en principe aux câbles métalliques résultent, en effet, simplement de l'emploi de ces câbles dans des conditions qui, suffisantes pour des câbles en textiles, ne convenaient plus pour des câbles métalliques analogues à ceux dont on avait fait choix. On a transformé souvent cette partie du matériel des mines sans faire subir au restant des installations ou des pratiques les modifications que cette transformation devait entraîner.

Avant d'examiner les conditions d'emploi que la pratique a indiquées pour les diverses natures du câble, il est une dernière observation générale sur laquelle il est utile d'insister ici.

Les exploitants ont généralement l'habitude en France de commander un câble aux fabricants, non seulement sans bien indiquer les conditions dans lesquelles ce câble doit être installé et doit fonctionner, mais encore en leur fixant eux-mêmes à l'avance bien souvent la composition détaillée du câble qu'ils désirent. A l'étranger, on suit habituelle-

ment une pratique différente, beaucoup plus rationnelle. Le fabricant connaît toutes les conditions de l'installation, le poids de la charge à enlever et la profondeur, ce qui va de soi, la vitesse à laquelle le câble doit fonctionner, le diamètre d'enroulement, la hauteur des molettes, l'angle des brins, la distance des molettes aux tambours ou bobines, etc... Il peut alors composer son câble en conséquence, ou tout au moins discuter sa composition avec l'exploitant. Un pareil concours est de nature à donner les meilleurs résultats.

Fabrication du câble. — Garanties à donner par le fabricant. — De quelque nature et de quelque forme que soit le câble choisi, il faut qu'il soit fait en bonne matière et bien fabriqué. Il faut que la matière soit bien homogène, la fabrication bien régulière sur toute la longueur du câble. Quelle que puisse être la valeur des essais auxquels on pourra soumettre le câble ou les parties qui le composent, il sera toujours bon de s'adresser à des fabricants connus pour les soins qu'ils apportent dans leurs fournitures. Un système de garantie analogue à celui de la Belgique (page 54) ou à celui adopté par les houillères royales de Sarrebrück (page 85) peut être utile pour éveiller la sollicitude et l'attention du fabricant, auquel on est bien forcé de s'en remettre avec plus ou moins d'abandon.

Conditions spéciales pour les câbles en textiles. — Le chanvre et l'aloès doivent être d'excellente qualité, ce qui ne peut guère se reconnaître qu'à la main, à la résistance des fibres et avec l'habitude. On a montré que, suivant le choix de la matière et le soin apporté dans la fabrication, la résistance à la rupture peut varier dans de fortes proportions. Il y aura donc intérêt à s'assurer par des expériences, chez le fabricant ou à la mine, de la résistance des *fils de caret*, ou, si on le peut, des échantillons pris sur le

câble lui-même. L'enroulement du câble sur lui-même et la couture devront être très réguliers et on doit veiller à ce que le câble ne tienne pas plus de 20 p. 100 de goudron.

Conditions des fils métalliques. — La pratique des mines semble consacrer pour leur usage des fils de fer clairs, qui doivent être choisis parmi les bonnes marques analogues aux marques classiques du Berry et de Comté. Les fils doivent être résistants et durs, souples et flexibles.

Les fils d'acier doivent être en aciers fondus, relativement durs, bien homogènes, que, par des trempes et recuits appropriés, on aura ramené aux conditions reconnues les meilleures pour la fabrication des câbles, c'est-à-dire à une résistance d'environ 110 a 120 kilog. par millimètre carré, avec des allongements de 3 à 5 p. 100. Les fils doivent être souples et flexibles et bien homogènes.

On se trouvera bien d'essayer soigneusement, dans des conditions identiques, tous les fils qui doivent entrer dans la composition d'un câble. On devra essayer les fils à la traction, à la flexion et à la torsion. On doit se rapprocher des résultats qui paraissent consacrés par la pratique de l'Allemagne (page 73). Il importe que les fils d'un même câble aient des éléments aussi semblables que possible.

Tous ces essais doivent être faits chez le fabricant et doivent être communiqués à l'exploitant, qui pourrait aisément et devrait les vérifier lui-même.

Des essais faits sur les échantillons mêmes des câbles, lorsqu'on pourra les faire sur des longueurs suffisantes, seront toujours utiles.

L'enroulement des fils et des torons doit être très régulier, et dans les câbles plats, la couture, qui doit toujours être faite en fils recuits, doit être aussi très régulière.

Composition des câbles métalliques. — Le numéro des fils

et le pas des hélices d'enroulement doivent varier suivant le diamètre d'enroulement et les conditions de l'installation, notamment suivant l'angle des deux brins et la distance des molettes aux tambours. Ce sont là des points qu'il appartient essentiellement au fabricant de déterminer, le câble devant avoir d'autant plus de raideur qu'il est plus exposé à fouetter.

Modifications subies par les câbles en service. — Les faits recueillis établissent que tout câble en service subit par l'usage une véritable détérioration de la matière, de nature à diminuer la résistance du câble dans une proportion qui peut finir par rendre son emploi dangereux.

Il n'y a pas seulement usure par le frottement, l'oxydation, etc., mais une véritable altération de la matière.

Pour l'aloès, les fibres perdent leur résistance ; pour les câbles métalliques, s'il n'est pas possible d'établir par des expériences positives une diminution de la résistance par unité de section, il est constant que leur flexibilité et leur élasticité diminuent ; les fils deviennent aigres et cassants au détriment de la résistance du câble.

Sans doute, la fatigue d'un câble, quel qu'il soit et à quelque cause qu'elle soit due, se marque généralement, à l'apparence extérieure, par des caractères qui ne pourront pas échapper habituellement à une attention ordinaire. Toutefois, pour les câbles métalliques, il est utile de suivre la marche progressive de cette fatigue par des expériences directes sur les fils isolés, ou, si on le peut, sur des bouts de câbles. En tout cas, il faut se défier, même si son apparence extérieure était bonne, de tout câble relativement âgé, c'est-à-dire dont la durée de service ou le travail effectué se rapprochent des moyennes correspondant aux conditions dans lesquelles il est placé. Un pareil câble notamment ne doit plus être employé pour la circulation du personnel.

Diamètre d'enroulement. — On ne saurait trop insister sur l'importance, avec tous les câbles, d'avoir des diamètres d'enroulement aussi grands que possible.

Cela est plus important pour les câbles métalliques que pour les câbles en textiles, pour les câbles en acier que pour les câbles en fer.

On peut admettre, à titre d'indication, la règle que le diamètre d'enroulement minimum doit être de 1.300 à 1.400 fois celui du fil pour les câbles en fer et 2.000 pour les câbles en acier.

Le rapport entre les dimensions du câble et le diamètre d'enroulement est moins important; par une fabrication appropriée et un numéro de fil bien choisi on peut obvier à l'inconvénient d'un trop faible diamètre. Cependant il ne sera pas inutile de ne pas trop s'écarter de la règle que le diamètre d'enroulement doit être de 80 à 100 fois plus grand que le diamètre ou l'épaisseur d'un câble métallique et 50 fois plus grand dans le cas d'un câble en textiles.

Conditions d'installation. — Le montage du câble doit être fait avec le plus grand soin, de façon que l'enroulement sur les bobines ou molettes se fasse sans choc et sans frottements sur les côtés. Le guidage devra de même être posé et entretenu de façon à éviter tous à-coups et tous chocs.

Plus les rayons d'enroulement seront considérables, moins l'angle des brins importera. Au cas contraire, il y a intérêt à le réduire. En tout cas, pour les câbles ronds, il y aura toujours avantage à diminuer l'obliquité du câble entre la molette et le tambour, sans perdre de vue les observations faites sur la composition du câble et notamment sur le pas des hélices d'enroulement, suivant les conditions dans lesquelles le câble est appelé à travailler.

Lorsqu'on emploiera des câbles métalliques, il sera bon de garnir de bois les molettes.

Mode d'attache des câbles. — Si l'on donne la préférence à l'attache par repliement du câble, il est utile, pour tous les câbles, particulièrement pour les câbles en fer et encore plus pour ceux en acier, de faire la boucle d'aussi grand diamètre que possible par l'interposition de croupières en fer et encore mieux de disques en bois pris dans la boucle.

On ne peut que recommander l'emploi des ressorts interposés entre le câble et la cage pour amortir le choc du démarrage.

Charges de service. — Pour les gros câbles métalliques, en fer ou en acier, et les grandes installations, il est prudent de ne faire travailler les câbles qu'au 1/10ᵉ de l'effort qui serait nécessaire pour les rompre.

Pour de petits câbles ronds de composition simple employés dans de petites installations, on pourra se rapprocher du 1/6ᵉ.

Les câbles en aloès bien fabriqués peuvent également être chargés du 1/7ᵉ ou du 1/8ᵉ de la charge de rupture.

Entretien des câbles. — L'entretien soigné des câbles et surtout des câbles métalliques est une chose indispensable à leur conservation.

Il suffit de suifer régulièrement les câbles en chanvre, et pour les câbles en aloès de les tenir constamment humectés.

Les câbles métalliques, et les câbles en acier particulièrement, doivent être graissés très régulièrement, à intervalles assez rapprochés pour que l'oxydation ne puisse jamais les attaquer. La graisse employée doit être assez fluide pour pénétrer dans l'intérieur du câble jusqu'aux âmes en chanvre, et assez consistante pour rester à l'extérieur. Un mélange d'huile et de graisse, bien brassé, appliqué à chaud à la brosse sur tout le câble, répond très

bien à ce desideratum. Il importe d'employer des huiles et des graisses neutres.

Coupage de la patte. — Avec tous les câbles, le coupage régulier de la patte est une opération importante ; il faut y procéder tous les deux ou trois mois et enlever de 2 à 3 mètres de câble à chaque fois.

On devra suivre par des essais sur les fils isolés des bouts de câbles ainsi coupés, et, si on le peut, sur les bouts eux-mêmes, la marche progressive de la fatigue.

La commission insiste vivement sur ces deux pratiques : coupage de la patte et essais des fils isolés qui en proviennent. Elles sont trop négligées en France, bien qu'elles soient tout à fait capitales pour les câbles métalliques. Beaucoup de ruptures inopinées auraient sans doute été évitées si on avait fait régulièrement cette opération et si l'on s'était rendu compte de l'état des fils.

Epissures. — La seule épissure qui puisse être admise est celle, faite par le décâblage et le recâblage, qui ne change pas la forme extérieure du câble. Elle demande à être exécutée, avec le plus grand soin, par des ouvriers spéciaux expérimentés. On doit toujours se défier d'un câble épissé, surtout s'il s'agit d'un câble métallique.

On ne doit jamais recourir aux épissures faites par recouvrement et ligature des deux parties à rapprocher ou par plaques à charnières : elles occasionnent dans la partie épissée, lors de l'enroulement, une fatigue exceptionnelle qui peut provoquer des ruptures.

Surveillance des câbles. — Les câbles doivent être l'objet d'une surveillance attentive, réelle et non plus ou moins nominale. En dehors de la surveillance que peuvent et doivent exercer les machinistes et receveurs, surveillance qu'on peut éveiller par un système de primes pour avaries

signalées, il faut que les câbles subissent chaque jour l'examen d'un agent compétent qui les fasse monter et descendre à vide sous ses yeux assez lentement pour qu'il ait le temps de les bien examiner. Une fois par semaine au moins, pour les câbles métalliques, il faut que cette visite soit faite assez attentivement pour qu'on puisse relever le nombre des fils cassés ou usés dans la partie qui paraîtra la plus fatiguée.

On se trouvera bien, partout où la chose sera possible, d'organiser à côté de la surveillance par les agents de la mine, une surveillance par les agents du fabricant du câble, comme cela a lieu en Belgique.

Il sera bon de tenir un registre faisant connaître pour chaque câble sa composition détaillée, les conditions de son installation et d'y rapporter successivement tout l'historique de son service depuis sa pose jusqu'à son enlèvement.

Précautions spéciales pour la circulation du personnel. — On ne doit employer pour la circulation du personnel qu'un câble en parfait état, qui ne présente aucune probabilité de rupture, soit à cause d'accidents ou blessures, soit à cause d'un service trop prolongé. Il sera bon, à cet égard, de se défier de tout câble épissé et de tout câble qui aurait déjà une durée des 2/3 de la durée moyenne des câbles de même nature et de même provenance dans le puits considéré.

Le personnel ne doit circuler par un câble neuf que lorsque l'on aura reconnu la manière dont le câble se comporte pendant quelques jours d'extraction.

On devra d'ailleurs, pour le transport des hommes, n'user que d'une charge notablement inférieure à la charge admise en service, et réduire la vitesse à la moitié ou au 2/3 de la vitesse normale.

On ne pourrait rappeler ici que pour mémoire toutes les

autres prescriptions en usage ou recommandées pour la circulation du personnel, telles que freins, évite-molettes, taquets de sûreté, etc... fermeture et couverture des cages, parachutes, etc... installation des signaux divers, etc... toutes questions qui ne se rattachent pas directement à la question proprement dite des câbles.

Mais ce n'est pas sortir du sujet que de rappeler que lorsque le personnel circule par les câbles dans un puits, tout autre service doit être interrompu par l'un et l'autre câble.

Enfin, on ne doit pas perdre de vue, tant dans la circulation du personnel que dans le service ordinaire de l'extraction, que la manière dont le mécanicien conduit sa machine est capitale pour la sécurité et la durée du câble : tous chocs, tous à-coups sont préjudiciables, de même que tout *lâche* trop prononcé et par suite tout coup de fouet donné au câble.

Dans la circulation du personnel notamment, il faut prendre soin d'avoir tendu le câble avant de laisser entrer les hommes dans la cage.

Prescriptions administratives. — En l'état des choses, il ne paraît pas qu'il y ait nécessité à imposer par voie de prescriptions administratives tout ou partie des recommandations qui ont été développées dans la dernière partie de ce rapport. Il suffirait d'appeler sur elles l'attention des exploitants.

Il conviendrait en même temps de signaler l'utilité qu'il pourrait y avoir à organiser une statistique des câbles analogue à celles qui se font en Allemagne. L'attention des ingénieurs des mines pourrait être attirée sur cette question dans nos principaux districts miniers.

ANNEXES

Annexe I. — Instruction de 1875 de l'Oberbergamt de Dortmund. (Extrait.)

Un câble bien établi fourni par un bon fabricant; une bonne installation de toute la machinerie; un entretien soigné des guides et de la cage; une protection aussi complète que possible contre les effets nuisibles de l'air, de l'eau et des replis; une surveillance attentive; une marche régulière du mécanicien; quatre fois l'an au moins le coupage à la patte de quelques mètres du câble (*) pour faire une nouvelle patte et changer le point d'appui sur les molettes et les bobines; l'emploi de rouleaux de friction pour rendre aussi peu nuisible que possible la flexion du câble à la patte, et celui de forts ressorts de traction pour éviter les chocs au démarrage, tels sont les moyens à employer pour conserver les câbles et éviter les ruptures inopinées.

L'expérience de ces dernières années a plusieurs fois montré que l'ascension prolongée de la cage rend la patte du câble cassante et donne lieu de craindre une rupture subite.

Annexe II. — Renseignements à donner dans la demande à fin d'autorisation pour faire circuler le personnel par les câbles. (Avis du 29 octobre 1872 de l'*Oberbergamt* de Dortmund.)

1. — Machine.

a. Situation (houillère et puits);
b. Profondeur des accrochages en mètres;
c. Type de la machine, horizontale ou verticale, à balancier, à engrenages ou à action directe;
d. Diamètre du cylindre;
e. Course du piston;
f. Mode de liaison de la tige du piston avec le tambour;

(*) Les instructions de 1876 et 1877 recommandent de couper 3 mètres tous les deux ou trois mois.

g. Diamètre du volant (s'il y en a);
h. Position du frein;
i. Type du frein (actionné à la main, avec le pied, à la vapeur);
k. Fabricant.

2. — Tambour.

a. Type (spiraloïde, conique, cylindrique);
b. Diamètre;
c. Largeur;
d. Diamètre des tourillons de l'arbre;
e. Nature de l'arbre (fer, fonte, acier);
f. Nature du frein du tambour.

3. — Molettes.

a. Diamètre;
b. Longueur de l'arbre et diamètre des tourillons;
c. Nature de l'arbre;
d. Hauteur au-dessus de la recette et situation par rapport au tambour;
e. Pose de la molette;
f. Dispositifs divers pris contre la rupture de l'arbre.

4. — Cable.

a. Fabricant;
b. Nature;
c. Diamètre;
d. Nombre de torons;
e. Ame;
f. Nombre des fils;
g. Force des fils;
h. Force du câble pour l'accrochage le plus profond;
i. Charge pour l'extraction;
k. Charge pour la circulation du personnel;
l. Câble de réserve.

5. — Cage.

a. Types (croquis l'indiquant avec la section des compartiments d'extraction, la position et le logement des guides, et la si-

tuation du compartiment d'extraction par rapport aux autres compartiments du puits);
b. Nature;
c. Plancher;
d. Toit;
e. Fermeture et mode de protection pour le transport des hommes;
f. Nombre de wagons par cordée;
g. Volume et poids des wagons;
i. Attache du câble à la cage;
k. Modes d'entrée et de sortie quand la cage a plusieurs étages;
l. Nombre de personnes à transporter par cordée.

6. — Parachute.

a. Type et nature;
b. Nature des ressorts;
c. Leur situation.

7. — Guidage.

a. Type;
b. Nature;
c. Force des longuerines ou des câbles;
d. Coulisseaux ou mains de guidage;

8. — Mesures pour éviter la mise aux molettes.

a. Mesures par détachement du câble;
b. Frein automoteur à la machine;
c. Évite-molettes.

9. — Signaux.

a. Nature des signaux entre la recette et l'accrochage (électrique, pneumatique, par fils de fer);
b. Nature des signaux entre la recette et la machine;
c. Signaux-indicateurs à la machine (cloche, indicateur de profondeur);
d. Situation et nombre des tableaux sur lesquels sont indiqués les signaux.

10. — DISPOSITIFS POUR LA FERMETURE DU PUITS ET L'ARRÊT DES CAGES.

a. Fermeture du puits au jour (est-elle automotrice?);
b. Aux accrochages;
c. Aux paliers intermédiaires;
d. Supports de la cage à la recette au jour et à chaque accrochage;

11. — ÉCLAIRAGE.

a. De la recette au jour;
b. Des accrochages;
c. De la chambre de la machine;
d. De la cage pendant le transport des hommes.

ANNEXE III. — **Type des autorisations pour l'emploi des câbles à la circulation du personnel dans le district de l'Oberbergamt de Dortmund.**

§ 1.

Aucun ouvrier ne peut être astreint à circuler par la cage.

§ 2.

Pendant la circulation du personnel, toute autre extraction est interdite dans le même compartiment du puits.

§ 3.

On doit se tenir tranquille dans la cage, ne pas changer de place et ne pas porter avec soi des objets lourds, tels que des outils.

§ 4.

Le personnel ne doit pas porter pour s'éclairer de lampes à feu découvert; la cage doit être munie d'une lumière fermée (lampe de sûreté ou lanterne).

§ 5,

Il est interdit de circuler dans ou sur une benne ou une cage chargée. La circulation sur un plancher de service n'est permise

qu'aux agents de la surveillance et aux ouvriers occupés à des réparations.

On doit se placer sur le sol de la cage et il est interdit de s'appuyer sur le bord.

§ 6.

Les câbles, leurs attaches à la cage et au tambour, les molettes et leur axe, le parachute et les cages elles-mêmes doivent être visités chaque matin avant la descente du personnel par des agents compétents à ce commis et le câble doit être déroulé lentement devant leurs yeux une fois tant à la descente qu'à la remonte. En cas d'échauffement de l'axe des molettes, la circulation du personnel sera suspendue jusqu'après réparation.

§ 7.

On ne doit employer que des câbles en bon état qui ne laissent pas craindre une prompte rupture. On ne doit pas employer de câbles épissés ni de câbles noués.

§ 8.

On doit avoir un câble neuf de réserve que l'on essaye, avant de l'employer à la circulation du personnel, pendant tout un poste, à l'extraction ordinaire.

§ 9.

Le nombre des personnes transportées par cordées ne dépassera pas..... Des tableaux placés dans la salle des ouvriers, à la recette au jour et aux accrochages, indiqueront ce nombre, ainsi que les heures d'entrée et de sortie, les noms des accrocheurs et des receveurs.

§ 10.

Les accrocheurs et receveurs ou des surveillants spéciaux ont à maintenir l'ordre à l'entrée et à la sortie de la cage, sous leur responsabilité; ils sont également responsables de la fermeture de la cage. Ils doivent également veiller à ce que la poudre transportée par les ouvriers soit emmagasinée de façon à ne créer aucun danger. Ils déterminent l'ordre de succession et ont seuls à donner les signaux. On doit se conformer à leurs ordres.

§ 11.

On ne peut employer comme mécaniciens que ceux admis à cet effet par les *Bergrevierbeamten* (*); ils sont responsables de l'exécution des présentes prescriptions.

§ 12.

Le *Betriebsführer* (**) doit faire connaître les présentes prescriptions, avec toutes les explications nécessaires, notamment par inscription au *Zechenbuch* (***) à toutes les personnes responsables, au visiteur des installations, aux ouvriers réparationnaires du puits, aux accrocheurs et receveurs ; on doit les faire connaître aux ouvriers par voie d'affiche.

§ 13.

Avant le commencement de toute circulation de personnel par la cage, il doit être fait un signal spécial, qui doit être répéte au mécanicien, pour mettre la machine en mouvement. Au commencement et à la fin de chaque voyage et à chaque sortie isolée de personnes survenant pendant le poste, il doit être fait un signal spécial d'avertissement et en ce cas le mécanicien, avant d'enlever la cage après réception du signal, doit attendre dix secondes au moins. Les signaux relatifs à la circulation du personnel doivent être inscrits sur des tableaux à la recette et dans la chambre de la machine.

§ 14.

La recette et les accrochages doivent être bien bien éclairés.

§ 15.

La vitesse ne doit pas dépasser..... mètres par seconde.

§ 16.

Les compartiments du puits servant à la circulation du personnel doivent être soigneusement visités au moins une fois par semaine : tout dommage ou avarie qui y serait reconnu doit être immédiate-

(*) Officiers des mines du premier degré.
(**) Directeur de l'exploitation responsable.
(***) Journal de la mine ou registre d'ordres.

ment réparé, et la circulation du personnel arrêtée jusqu'après achèvement desdites réparations.

§ 17.

Si l'on veut employer un câble d'une autre nature que celui pour lequel l'autorisation a été accordée, avis doit en être donné au *Revierbeamte*. Si rien n'est changé aux dispositions et si le nouveau câble a la force nécessaire, le *Revierbeamte* donne par écrit l'autorisation nécessaire.

§ 18.

Une copie de la présente ordonnance doit être affichée sur la houillère de façon que chacun puisse en prendre aisément connaissance.

§ 19.

Les contraventions à la présente ordonnance, dont le *Betriebsführer* est responsable aux termes du § 76 de la loi du 24 juin 1865, à moins que ladite ordonnance n'engage expressément la responsabilité d'une autre personne, entraînent, sauf le cas où elles sont punies d'une peine plus forte par le Code pénal, une amende de 50 thalers au plus, d'après les §§ 207 et 208 de la loi générale sur les mines.

ANNEXE IV. — **Règlement du 6 septembre 1880, fait par l'Oberbergamt de Bonn, pour autoriser la circulation du personnel dans les puits de Camphausen (Sarrebrück).**

ART. 1.

Les compartiments des puits par lesquels circule le personnel doivent être visités soigneusement une fois par semaine au moins par un agent expérimenté à ce commis. Les défauts et dégradations reconnus dans cette visite doivent être immédiatement réparés; la circulation par le câble doit être suspendue jusqu'après réfection.

ART. 2.

Des signaux doivent être disposés pour l'échange facile des communications entre le receveur au jour et les accrocheurs des

différents envoyages, ainsi qu'entre la recette du jour et le machiniste. Dans chaque cage il y aura, en outre, un sifflet pour signal.

ART. 3.

Les accrochages doivent être assez bien éclairés pour que l'on y voie bien lors de l'entrée et de la sortie de la cage.

ART. 4.

Il doit y avoir, dans la chambre de la machine, un indicateur faisant connaître à chaque instant la situation de la cage dans le puits.

ART. 5.

Les câbles destinés à la circulation des hommes ne peuvent être mis en place avant qu'une personne compétente, à ce commise, ne les ait examinés et ils ne peuvent être employés à cet effet avant qu'ils aient été essayés pour l'extraction ordinaire pendant un poste au moins et trouvés sans défaut.

ART. 6.

La cage doit être munie d'un toit et avoir des parois solides et étanches; elle doit être fermée de telle sorte que les vêtements des ouvriers ne puissent saillir au dehors.

Le câble, la patte, la cage et le tambour (ou les molettes) doivent être visités chaque jour, dans toutes leurs parties, en vue de s'assurer de leur état, par les personnes désignées à l'article 5; à cet effet, le câble doit être déroulé et enroulé lentement une fois au moins devant leurs yeux. En cas de défaut, constaté par cette visite, la circulation du personnel serait interdite jusqu'après complète réparation.

Aussitôt que le câble est endommagé en un point, il doit être enlevé et remplacé par un autre. On ne peut faire usage de câbles épissés et de câbles noués. On doit toujours avoir au moins un câble de rechange.

ART. 7.

Avant toute circulation du personnel il doit être fait un voyage dans chaque sens de la cage avec charge équivalente, comme épreuve, à moins que l'extraction normale ne fonctionnât déjà régulièrement auparavant.

ART. 8.

Pendant la circulation du personnel toute extraction est interdite.

L'entrée dans la cage et la sortie sont interdites tant que la cage ne repose pas sur les taquets d'arrêt.

ART. 9.

La machine doit être munie d'un frein tel que le mécanicien, sans abandonner la conduite de la machine, puisse serrer et desserrer facilement pendant le mouvement comme pendant l'arrêt.

L'état du frein et de la machine d'extraction doit être examiné chaque jour par le mécanicien. S'il constate quelque défaut ou avarie, la circulation du personnel sera interdite jusqu'après réparation.

ART. 10.

La vitesse, pendant la circulation du personnel, ne doit pas dépasser 4 mètres par seconde. Le départ et l'arrêt doivent avoir lieu sans choc, pendant le transport des personnes comme pendant l'extraction, de façon à éviter toute avarie au câble.

ART. 11.

Le machiniste est responsable de l'exécution des mesures prescrites dans le second alinéa de l'article 9 et dans l'article 10 ainsi que de l'exécution des signaux qui lui sont faits (art. 15) pour la conduite de la machine.

ART. 12.

La circulation du personnel n'aura lieu qu'aux heures indiquées par le directeur de la houillère dans l'ordre de service fait à cet effet (art. 16).

En dehors de ce temps, le directeur des travaux peut autoriser la circulation du personnel quand il s'est assuré auparavant que tout se trouve dans une situation qui permette de le faire avec sécurité.

ART. 13.

On ne transportera pas plus à chaque voyage de 32 personnes au puits n° I et de 6 au puits n° II.

Il est défendu de porter avec soi des objets pesants et notamment des outils.

Il est défendu de monter sur et dans une cage chargée.

ART. 14.

Pendant la marche on ne doit pas changer de place; on doit se tenir en repos et tranquille.

ART. 15.

A chaque envoyage il doit y avoir un receveur qui est responsable du maintien de l'ordre, particulièrement à l'entrée et à la sortie, comme de l'observation des prescriptions des articles 7 et 8; on doit se conformer aux ordres donnés par lui.

Ces receveurs ont à faire les signaux ordonnés pour la montée ou la descente de la cage; ils ont à prêter une attention spéciale aux signaux pendant la circulation du personnel.

Le receveur au jour ne doit pas transmettre le signal de mise en marche au machiniste avant d'avoir reçu des receveurs du fond le signal que la manœuvre peut commencer.

Les receveurs déterminent l'ordre dans lequel le personnel doit se succéder et ils ont seuls la tâche de faire les signaux nécessaires. Avant le départ ils ont à choisir dans chaque groupe la personne compétente à laquelle est confié le sifflet de signal (art. 2) par lequel pendant le voyage doivent être faits les signaux nécessaires.

ART. 16.

Le directeur fixe par une instruction les règles à suivre pour la circulation du personnel.

Les contrevenants à cette instruction peuvent être exclus par le *Betriebsbsführer* à temps ou pour toujours de la circulation par les cages.

ART. 17.

Les noms des personnes dont il est question dans les articles 1, 5, 11 et 15, ainsi que l'instruction pour la circulation, doivent être affichés aux abords des puits d'une façon bien apparente.

ART. 18.

Chaque année, une fois au moins, la machine et tous ses accessoires doivent être soigneusement examinés dans tous leurs dé-

tails par un chef mécanicien; toute avarie ou tout dommage doit être immédiatement réparé.

La circulation du personnel restera suspendue jusqu'après remise complète en état.

ART. 19.

Il ne pourra être fait usage de la présente autorisation avant que l'exécution des prescriptions qui y sont contenues n'ait été vérifiée sur place par le *Revierbeamte* et que la circulation du personnel ait été déclarée possible.

En cas d'inexécution de quelques-unes des règles et prescriptions ci-dessus stipulées ou en cas de modifications essentielles aux conditions stipulées dans la demande, la présente permission cessera d'avoir son effet, sans qu'il soit nécessaire de recourir à une intervention officielle.

ART. 20.

L'emploi du câble, pour la circulation à un étage plus profond, ne peut avoir lieu avant que le *Revierbeamte* n'ait vérifié les dispositions prises et déclaré par écrit que la circulation est possible.

ART. 21.

Les contraventions au présent règlement seront constatées et punies conformment aux articles 208 et 209 de la loi de 1865.

ART. 22.

La présente permission et son extension, le cas échéant, à un nouvel étage (art. 20) doivent être inscrites sur le journal d'ordres (*Zechenbuch*) ; il doit en être donné connaissance aux ouvriers par l'appel et par l'affichage.

ANNEXE V. — Renseignements compris dans la statistique des câbles de Dortmund.

1. Nom du fabricant du câble.
2. District administratif où est située la mine.
3. Nom de la houillère.
4. Nom du puits.
5. Profondeur des accrochages.

6. Matière du câble.
7. Est-elle employée recuite ?
8. Epaisseur et largeur (ou diamètre) du câble.
9. Y a-t-il une âme en chanvre dans le câble ou dans les torons (et son diamètre) ?
10. Nombre des torons du câble.
11. Nombre des fils dans chaque toron.
12. Diamètre des fils.
13. Numéro du fil.
14. Section métallique du câble.
15. Longueur totale du câble.
16. Poids moyen d'un mètre de câble.
17. Longueur de spire du fil dans le toron.
18. — du toron dans le câble.
19. Prix d'un kilog. de câble.
20. Diamètre de la molette.
21. Matière et mode de construction de la molette.
22. Diamètre du tambour ou de la bobine (du plus grand et du plus petit enroulement).
23. Mode de construction de la bobine ou du tambour.
24. Hauteur verticale de l'axe de la molette sur l'axe du tambour ou de la bobine.
25. Distance horizontale entre les axes des molettes et du tambour ou bobine.
26. Poids d'une cage.
27. Poids d'un wagon vide.
28. Poids d'un wagon chargé de charbon.
29. Nombre de wagons par cage.
30. Vitesse habituelle de l'ascension
31. Nombre total des cordées pour chaque accrochage.
32. Extraction par le câble en charbon, stériles, eau, hommes, chevaux et matériaux, pour chaque accrochage, le tout constituant ensemble le travail utile.
33. Combien de fois et avec quoi le câble est-il graissé ?
34. Date de la pose du câble.
35. Date de l'enlèvement du câble.
36. Motif de l'enlèvement.
37. Cause, point et nature de la rupture du câble, ou des torons ou des fils isolés et son effet sur le restant du câble.
38. Remarques sur les conditions locales spéciales qui ont une influence essentielle sur le service du câble.
39. Travail utile total du câble en millions de kilogrammètres.

40. Durée de service du câble.
41. Charge de rupture du câble (acier fondu non recuit 115 kilog.; fer non recuit 56 kilog. par millimètre carré).
42. Charge de service maximum (câble dans le puits + cage avec chaînes + x wagons chargés).
43. D'où coefficient de sécurité.

ANNEXE VI. — **Renseignements compris dans la statistique des câbles de Sarrebrück.**

1. Nom du fabricant du câble.
2. Nom de la mine.
3. Nom de la fosse ou du puits.
4. Profondeur des étages exploités et hauteur effective de l'élévation.
5. Nature du câble.
6. La matière du câble est-elle recuite?
7. Diamètre (du câble rond), largeur et épaisseur (du câble plat).
8. Ames en chanvre du câble et des torons (leur diamètre).
9. Nombre des torons.
10. Nombre des fils par torons.
11. Diamètre et numéro du fil.
12. Longueur totale du câble, longueur entre la molette et les accrochages.
13. Poids moyen d'un mètre courant de câble.
14. Longueur de spire du fil dans le toron.
15. Longueur de spire du toron dans le câble.
16. Prix d'un kilogramme de câble.
17. Charge de rupture du câble :

    a) D'après le fabricant ;
    b) D'après les essais directs.

18. Diamètre de la molette.
19. Matière et mode de construction de la molette : garniture.
20. Diamètre du tambour ou bobine (maximum et minimum).
21. Mode de construction de la bobine ou du tambour (spiraloïde, conique, cylindrique).
22. Le câble s'enroule-t-il sur lui-même ?
23. Jeu laissé dans le tambour ou la bobine.
24. Garniture du tambour ou de la bobine.

25. Les deux tambours ou bobines sont-ils montés sur le même arbre ou dispositions prises pour leur réunion?
26. Hauteur verticale de l'axe des molettes à l'axe du tambour.
27. Distance horizontale de l'axe des molettes à l'axe du tambour.
28. Poids d'une cage.
29. — d'un wagon vide.
30. — — chargé de charbon.
31. — — chargé de stériles.
32. Nombre de wagons par cage.
33. Poids d'une caisse à eau vide.
34. — — pleine.
35. La caisse à eau est-elle reliée directement au câble ou avec une cage?
36. La réunion du câble ou de la cage se fait-elle avec ou sans chaînes?
37. Emploie-t-on des ressorts de suspension?
38. Vitesse moyenne.
39. Nombre total de cordées faites par le câble.
40. Service fait par le câble :

    a) En charbons, stériles et eau, élevés;
    b) En hommes (à 75 kilog.), chevaux (à 200) et matériaux, montés et descendus.

41. Combien de fois le câble est-il graissé, avec quoi et comment?
42. Dates de la pose et de l'enlèvement du câble.
43. Motifs de l'enlèvement.
44. Cause, place et disposition de la rupture, son action sur chaque toron.
45. Remarques sur les conditions locales spéciales qui peuvent exercer quelque influence sur les résultats.
46. Effet utile du câble en kilogrammètres.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

CABLES EMPLOYÉS EN FRANCE

§ 1.

§ 2.

§ 3.

§ 4.

§ 5.

§ 6.

§ 7.

§ 8

DEUXIÈME PARTIE

DES CABLES EMPLOYÉS A L'ÉTRANGER

PREMIÈRE SECTION

BELGIQUE

DEUXIÈME SECTION.

ANGLETERRE

TROISIÈME SECTION

ALLEMAGNE

TROISIÈME PARTIE

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

ANNEXES

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

BULLETIN
DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI DES APPAREILS A VAPEUR
PENDANT L'ANNÉE 1880.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
8 janvier..	Exploitation rurale à Bersée (Nord.)	Chaudière verticale à foyer intérieur. Enveloppe de $0^m,90$ de diamètre et de $1^m,92$ de hauteur. Foyer de $0^m,72$ de diamètre et de $1^m,20$ de hauteur. Timbre : 6 k. construite en 1866.	Chômage pendant les grands froids. — A la mise en feu, une fuite importante s'était manifestée le long du joint vertical de l'enveloppe. On avait alors fait un premier matage à froid. Quand le feu fut activé de nouveau, la fuite reparut ; on continuait le matage à chaud quand l'explosion se produisit. La pression était alors de 3 k. environ. L'enveloppe du foyer, presque complètement développée, a été projetée. La calotte supérieure est retombée sur cette enveloppe.	Deux personnes tuées dont une à 15 mètres de l'appareil; une autre grièvement blessée. Hangar détruit.	Déchirure de la tôle le long d'une rivure verticale de l'enveloppe du foyer. — La tôle présentait de nombreuses cassures anciennes entre les rivets; il est très-probable qu'elles ont été produites par la congélation de l'eau pendant le chômage.
9 janvier..	Moulin à Marsais Ste-Radegonde (Vendée).	Chaudière de forme locomobile avec foyer intérieur, enveloppe cylindrique verticale de foyer, corps horizontal contenant les tubes.	La chaudière était mise en feu pour la première fois depuis les grandes gelées. Peu de temps après elle fit explosion, l'enveloppe du foyer fut déchirée laissant à découvert le foyer et les tubes intacts ; les tôles s'étaient repliées autour du bâtis de la machine qui surmontait la chaudière.	Chauffeur tué.	La chaudière avait été soumise à l'action d'un grand froid sans être vidée. Il est probable qu'elle a été gravement avariée par l'expansion de l'eau se transformant en glace.

		gueur. — 15 tubes en laiton de $0^m,07$ de diamètre. — Livrée en 1863. — Réparée en 1878 et rééprouvée. — Visitée deux fois depuis cette époque.	drique, on se prépara à la mater tandis qu'on maintenait un feu modéré. Tout à coup une explosion violente se produisit. Machine et roues réduites en pièces. Corps cylindrique fendu sur toute la longueur de la rivure. Tôle inférieure projetée à 6^m de distance. Tôle supérieure un peu fendue et plissée.		
13 mars....	Bateau « La Colomba. » Port de Bône.	Chaudière à faces latérales planes avec fonds supérieur et inférieur cylindriques. — Deux foyers intérieurs et un retour de flammes tubulaire. Timbre 4 k, 5. — Réparation par placage faite dans l'intérieur de la chaudière. — Mise en service en janvier 1872. — Dernière épreuve avril 1879. — Dernière réparation non suivie d'épreuve.	Le fond inférieur s'est ouvert sur toute sa longueur qui est de $3^m,14$. La fente produite avait 12 ou 15 centimètres de largeur en moyenne. — La déchirure suivait une ligne de rivets sur $1^m,05$, puis la rencontre d'une plaque de renfort l'avait déviée le long d'une ligne de boulons de cette plaque, enfin elle reprenait la direction de la ligne de rivets jusqu'à l'autre bout de la chaudière.	Treize personnes tuées, dix-sept autres blessées.	Etat d'extrême usure et de corrosion intérieure et extérieure des parties basses de la chaudière. — Réparation très-insuffisante.
1er avril..	Cartonnerie mécanique à Paris.	Chaudière semi-tubulaire. — Corps cylindrique de $1^m,60$ de diamètre et de $4^m,87$ de longueur. — 64 tubes de $0^m,08$ de diamètre. — Capacité totale $8^{m3},660$. Timbre 6 k. — La feuille inférieure de la première virole présente une ancienne fissure qu'on avait bouchée en 1879 en appliquant à l'intérieur une feuille de plomb recouverte d'une feuille de tôle mince, le tout réuni à la paroi de la chaudière par quatre boulons filetés traversant la paroi en des points situés sur la fente même et recevant des écrous à l'intérieur. — Chaudière non éprouvée après réparation.	La chaudière s'est séparée en six morceaux principaux qui ont été disséminés sur une surface de 1200 mètres carrés. — Une des cassures s'est faite suivant une ligne à peu près horizontale passant par plusieurs trous de rivets d'une pièce rivée et par quatre autres trous disposés en ligne droite en dehors de la pièce et qui avaient servi aux boulons filetés dont il est question ci-contre.	Un ouvrier tué; quatre autres blessés.	Fissure qui s'était produite dans la tôle du coup de feu; après un essai de réparation, la fuite s'est bientôt manifestée de nouveau et a augmenté progressivement jusqu'à l'explosion.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
25 avril....	Atelier de teinture et d'apprêts à Ivry. (Seine).	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. — Corps principal de 1^m de diamètre et $7^m,95$ de longueur. — Bouilleurs de $0^m,60$ de diamètre et $7^m,89$ de longueur. — Capacité, $10^{m3},741$.	Le chauffeur mit en action le Giffard et ouvrit le robinet d'alimentation de la chaudière; à ce moment il se produisit un sifflement et quelque temps après le bouilleur s'ouvrit au-dessus de la grille. — Déchirure au fond du bouilleur sur une ligne courbe de 2^m de longueur environ.	Un ouvrier grièvement brûlé par la vapeur.	Manque d'eau. — La tôle a été fortement surchauffée et la vapeur développée à l'arrivée de l'eau d'alimentation a facilement vaincu la résistance du métal altéré.
24 mai.....	Remorqueur « La Seine » à Ivry (Seine).	Chaudière tubulaire à foyer intérieur à façades et faces latérales planes. Capacité $5^{m3},661$. — Surface de chauffe 50 mètres carrés. — Timbre 3 atmosphères. Dernière épreuve cinq semaines avant l'accident.	Départ de Paris. — Arrêt en face de Maisons-Alfort à 6 h. du soir pour réparer une fuite au condenseur pendant la nuit. On poussa le feu au fond de la grille, on entr'ouvrit les portes du foyer et des tubes, on ferma le registre et la porte du cendrier et on abaissa la cheminée. Vers minuit et demi on regarnit le feu et on remplit la chaudière. A 2 h. explosion. — La plus grande partie de la chaudière restée en place; ensemble légèrement disloqué avec quelques déchirures d'ailleurs à peine ouvertes. Deux fragments formant ensemble les deux faces latérales et le demi-cylindre qui recouvraient la totalité de la chaudière (surface de $2^m10 \times 7^m,00$) se sont détachés et ont été projetés au loin, leurs entretoisements n'ayant pas résisté.	Le mécanicien mort de ses brûlures. Bateau sombré.	Cause inconnue.
25 mai.....	Fabrique de graisse à Castagniers, près Levens. (Alpes Maritimes).	Récipient en tôle de $0^m,90$ de diamètre et $2^m,00$ de hauteur. — Deux ouvertures	Une fuite se produisit à la porte inférieure à gauche. On voulut l'arrêter en avançant la	Le chef de l'usine brûlé mortellement.	Porte maintenue d'une manière insuffisante. Un des boulons fixes réparé d'une façon

		Livrée en 186.. — Réparée en 1878 et réeprouvée. — Visitée deux fois depuis cette époque.	...nait un feu modéré. Tout à coup une explosion violente se produisit. Machine et roues réduites en pièces. Corps cylindrique fendu sur toute la longueur de la rivure. Tôle inférieure projetée à 6^m de distance. Tôle supérieure un peu fendue et plissée.		
13 mars....	Bateau « La Colomba. » Port de Bône.	Chaudière à faces latérales planes avec fonds supérieur et inférieur cylindriques. — Deux foyers intérieurs et un retour de flammes tubulaire. Timbre 4 k, 5. — Réparation par placage faite dans l'intérieur de la chaudière. — Mise en service en janvier 1872. — Dernière épreuve avril 1879. — Dernière réparation non suivie d'épreuve.	Le fond inférieur s'est ouvert sur toute sa longueur qui est de 3^m,14. La fente produite avait 12 ou 15 centimètres de largeur en moyenne. — La déchirure suivait une ligne de rivets sur 1^m,05, puis la rencontre d'une plaque de renfort l'avait déviée le long d'une ligne de boulons de cette plaque, enfin elle reprenait la direction de la ligne de rivets jusqu'à l'autre bout de la chaudière.	Treize personnes tuées, dix-sept autres blessées.	État d'extrême usure et de corrosion intérieure et extérieure des parties basses de la chaudière. — Réparation très-insuffisante.
1er avril..	Cartonnerie mécanique à Paris.	Chaudière semi-tubulaire. — Corps cylindrique de 1^m,60 de diamètre et de 4^m,87 de longueur. — 64 tubes de 0^m,08 de diamètre. — Capacité totale 8^{m3},660. Timbre 6 k. — La feuille inférieure de la première virole présente une ancienne fissure qu'on avait bouchée en 1879 en appliquant à l'intérieur une feuille de plomb recouverte d'une feuille de tôle mince, le tout réuni à la paroi de la chaudière par quatre boulons filetés traversant la paroi en des points situés sur la fente même et recevant des écrous à l'intérieur. — Chaudière non éprouvée après réparation.	La chaudière s'est séparée en six morceaux principaux qui ont été disséminés sur une surface de 1200 mètres carrés. — Une des cassures s'est faite suivant une ligne à peu près horizontale passant par plusieurs trous de rivets d'une pièce rivée et par quatre autres trous disposés en ligne droite en dehors de la pièce et qui avaient servi aux boulons filetés dont il est question ci-contre.	Un ouvrier tué; quatre autres blessés.	Fissure qui s'était produite dans la tôle du coup de feu; après un essai de réparation, la fuite s'est bientôt manifestée de nouveau et a augmenté progressivement jusqu'à l'explosion.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
23 avril....	Atelier de teinture et d'apprêts à Ivry. (Seine).	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. — Corps principal de 1m de diamètre et 7m,95 de longueur. — Bouilleurs de 0m,60 de diamètre et 7m,89 de longueur. — Capacité, 10m3,741.	Le chauffeur mit en action le Giffard et ouvrit le robinet d'alimentation de la chaudière; à ce moment il se produisit un sifflement et quelque temps après le bouilleur s'ouvrit au-dessus de la grille. — Déchirure au fond du bouilleur sur une ligne courbe de 2m de longueur environ.	Un ouvrier grièvement brûlé par la vapeur.	Manque d'eau. — La tôle a été fortement surchauffée et la vapeur développée à l'arrivée de l'eau d'alimentation a facilement vaincu la résistance du métal altéré.
24 mai.....	Remorqueur « La Seine » à Ivry (Seine).	Chaudière tubulaire à foyer intérieur à façades et faces latérales planes. Capacité 5m3,661. — Surface de chauffe 50 mètres carrés. — Timbre 3 atmosphères. Dernière épreuve cinq semaines avant l'accident.	Départ de Paris. — Arrêt en face de Maisons-Alfort à 6 h. du soir pour réparer une fuite au condenseur pendant la nuit. On poussa le feu au fond de la grille, on entr'ouvrit les portes du foyer et des tubes, on ferma le registre et la porte du cendrier et on abaissa la cheminée. Vers minuit et demi on regarnit le feu et on remplit la chaudière. A 2 h. explosion. — La plus grande partie de la chaudière restée en place; ensemble légèrement disloqué avec quelques déchirures d'ailleurs à peine ouvertes. Deux fragments formant ensemble les deux faces latérales et le demi-cylindre qui recouvraient la totalité de la chaudière (surface de 2m10 × 7m,00) se sont détachés et ont été projetés au loin, leurs entretoisements n'ayant pas résisté.	Le mécanicien mort de ses brûlures. Bateau sombré.	Cause inconnue.
25 mai	Fabrique de graisse à Castagniers, près Levens (Alpes Maritimes).	Récipient en tôle de 0m,90 de diamètre et 2m,00 de hauteur. — Deux ouvertures	Une fuite se produisit à la porte inférieure à gauche. On voulut l'arrêter en avançant la	Le chef de l'usine brûlé mortellement.	Porte maintenue d'une manière insuffisante. Un des boulons mal réparé d'une façon

		… vis traversent une pièce de fer maintenue elle-même à chaque extrémité par deux boulons dont le pied est vissé à demeure dans le cadre de la porte. — Appareil non éprouvé.	boulon de droite qui se rompit et la porte s'ouvrit brusquement.		
6 juin......	Fabrique d'engrais à Nanterre (Seine).	Récipient cylindrique en tôle de 0m,90 de diamètre et 2m,12 de hauteur servant de monte-jus. — A la partie supérieure arrive la vapeur des générateurs; au bas débouchent les tuyaux d'aspiration et de refoulement munis chacun d'une vanne. Pas de soupape de sûreté. — Le récipient est formé de trois feuilles rivées suivant des génératrices.— Appareil non éprouvé.	Le chauffeur supposant une obstruction employa une manœuvre qui lui réussissait en pareil cas, il admit la vapeur en plein et le récipient fit explosion.	Un homme tué.	L'appareil a été soumis, par suite de l'obstruction des tuyaux, à une pression égale à celle des générateurs.
10 juin.....	Fabrique de cotonnades à Roanne.	Chaudière à foyer intérieur. Longueur 6m,08. Diamètre du corps principal 1m,45, du foyer intérieur 0m,80.	Au moment où le chauffeur venait de lever le registre, une déchirure s'est produite au ciel du foyer intérieur; cette déchirure est transversale et mesure 0m,80 de longueur sur 0m,22 dans sa plus grande largeur.	Quelques dégâts matériels.	Le ciel du foyer intérieur n'étant plus baigné par l'eau a été surchauffé et s'est écrasé sous la pression ordinaire.
12 juillet...	Forges et laminoirs d'Aubervilliers (Seine).	Chaudière cylindrique verticale de 1m,30 de diamètre et 14m de hauteur, traversée suivant son axe par un tube de 0m,65 de diamètre. — Chauffage par les flammes perdues d'un four à réchauffer le fer. — Les flammes montent d'un côté du corps cylindrique, redescendent de l'autre et remontent par le tube intérieur.— Capacité 14 mètres cubes. — Timbre 6 k.	Après quelques essais et avant le fonctionnement régulier, on chauffa toute la journée du 11 juillet. On constata une dépense d'eau anormale, on remplit le soir pour vérifier le lendemain. A la pression de 6 k. il se produisit un sifflement suivi d'une forte détonation, l'eau et la vapeur firent irruption par le haut et par le bas de la chaudière. Le tube intérieur s'est fendu des deux côtés sur presque toute sa hauteur et l'une des moitiés s'est aplatie contre l'autre. Vers chaque extrémité, dans les régions	Destruction d'une partie de l'enveloppe en maçonnerie de la chaudière.	Vice de construction. — Le tube intérieur de 0m,65 de diamètre, 14m de longueur et 8 m/m d'épaisseur ne présentait pas une rigidité suffisante; dans le transport de la chaudière, il a pu se déformer légèrement; il paraît certain qu'une fuite s'était formée avant l'accident. On s'explique ainsi l'écrasement qui s'est produit dès que la pression s'est élevée à 6 k.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
			où cesse l'aplatissement, il s'est produit deux ouvertures circulaires par lesquelles la chaudière s'est vidée.		
21 juillet...	Fabrique de pointes, Passage de l'Atlas, à Paris	Chaudière composée de deux corps cylindriques de 0m,80 de diamètre et de 3m,00 de longueur, superposés et réunis par deux communications; corps inférieur traversé par quatre tubes de 0m,20 de diamètre et relié par quatre communications à deux bouilleurs de 0m,50 de diamètre et 5m de longueur. — Capacité totale 4m3,915. — Construite en 1858, réparée en 1878 et éprouvée pour la pression de 5 k.	Mise en feu à 5 h. 1/2 du matin. Un peu plus tard, jugeant qu'il n'y avait pas assez d'eau, on mit en mouvement la pompe d'alimentation; 10 ou 15 minutes après l'explosion se produisit. — Secousse légère, chaudière non déplacée. Bouilleur de droite ouvert à sa partie inférieure à 2m,30 de la tête dans la virole qui suivait la tôle du coup de feu et qui datait de la construction. — Ouverture de 0m,30 sur 0m,34. — Il ne paraît pas qu'au moment de l'explosion il se soit répandu dans l'enfer une quantité d'eau appréciable.	Chauffeur brûlé grièvement et mort des suites de ses brûlures.	Chaudière mise en feu alors qu'elle ne contenait que très-peu d'eau; un des bouilleurs a rougi et s'est ouvert à l'arrivée de l'eau d'alimentation.
9 juillet...	Élévation d'eau à Prémesque (Nord)	Chaudière horizontale, cylindrique, tubulaire, avec foyer vertical, 20 tubes à fumée.	L'appareil était au repos; il a fait explosion: la chaudière s'est divisée en un certain nombre de fragments.	Un ouvrier a eu le bras fracturé. Dégâts matériels importants.	Cause inconnue.
4 août....	Distillerie à St-Denis (Seine)	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs de 0m,45 de diamètre. — Capacité 4m3,793. — Achetée d'occasion en 1875. Réparée et éprouvée pour 4 k.	La chaudière servait depuis quelques heures à fournir de la vapeur à un alambic. Le bouilleur de gauche s'est ouvert au coup de feu. Ouverture trapézoïdale de 0m,70 sur 0m,42. — Tôle repliée.	Dégâts matériels peu importants.	Manque d'eau. — Un des bouilleurs surchauffé s'est ouvert sous la pression ordinaire de la vapeur.
9 août....	Teinturerie à Lyon.	Récipient pour la fabrication d'extraits de bois de teinture. — Cuve cylindrique en	A la seconde opération, le couvercle s'est séparé du corps cylindrique traversant le	Dégâts matériels importants.	Excès de pression de la vapeur, la prise de vapeur de la soupape ayant été bouchée

		nication entre les réchauffeurs et la chaudière établie par un tube de 3 centimètres de diamètre et de $7^m,60$ de longueur. Bouilleurs fermés par des fonds en fonte rivés à la partie cylindrique et portant des trous d'homme. — Épreuve en 1872 à 6 k.			d'eau; il est peu probable que l'arrivée de l'eau dans le corps cylindrique ait été l'occasion d'un développement abondant de vapeur. Il est plus vraisemblable que le tuyau, long, étroit et courbé plusieurs fois à angle droit, qui réunissait le réchauffeur au corps principal, se soit trouvé obstrué ou très-rétréci par les dépôts détachés des parois et que l'action de la pompe alimentaire ait produit la pression qui a occasionné la rupture.
31 octobre..	Papeterie à Courcelles (Loir-et-Cher).	Générateur composé d'un corps principal avec deux bouilleurs et deux réchauffeurs. — Timbre 5 k. — Installation en 1877. — Le système de fermeture des bouilleurs consiste en une plaque de fonte elliptique serrée à l'aide de deux boulons à écrous qui traversent un étrier s'appuyant sur la face extérieure du bouilleur. — Le joint était fait d'un anneau de caoutchouc de $0^m,03$ de largeur; le cordon saillant venu de fonte avec la plaque et qui doit déterminer sa position laissait un jeu relativement grand et le caoutchouc n'était pas bien maintenu.	Un des côtés du caoutchouc du joint de l'autoclave a été chassé par la pression de la vapeur; l'eau de la chaudière s'est frayé un large passage.	Le chauffeur et son aide mortellement brûlés.	Disposition défectueuse de la plaque autoclave de fermeture de l'un des bouilleurs.
19 novembre	Aciérie à Mont-St-Martin (Meurthe-et-Moselle).	Chaudière cylindrique à fonds hémisphériques surmontée d'un dôme vertical avec un bouilleur et un réchauffeur. — Capacité 25 mètres cubes. — Surface de chauffe 90 mètres carrés. — Chaudière non rééprouvée après des réparations importantes.	Quelques secondes après l'ouverture du robinet d'alimentation, un bruit sourd et saccadé s'est fait entendre dans le réchauffeur, puis il s'est produit une explosion de ce réchauffeur. La première virole est restée rivée à la tête sur la moitié environ de sa circonference, l'autre moitié s'était déchirée et développée. — La tête en fonte et cette première virole ont été projetées à 10^m en avant du fourneau.	Dégâts matériels.	Fatigue de la tôle à la suite d'un service de quinze ans et défaut d'alimentation.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
		mètres dans un sens et 22 dans l'autre. — Les têtes des entretoises étaient noyées dans l'épaisseur de la tôle fraisée à cet effet et retenues seulement par un bord très-mince. — Vapeur fournie par des chaudières marchant habituellement à 4 k. de pression. — Pas d'échappement de vapeur. — Appareil non éprouvé.			
5 octobre..	Teinturerie à Talence (Gironde).	Chaudière composée d'un corps cylindrique de 1m de diamètre et de 3m de longueur terminé par deux faces planes reliées entre elles par sept tubes de fumée et deux tirants.	Le chauffeur s'étant aperçu que le tuyau de communication de la pompe alimentaire avec le réservoir d'eau était bouché, le déboucha et alimenta. On vit alors le manomètre passer brusquement de 2 à 6 atmosphères. — Explosion. — La chaudière s'est déchirée longitudinalement suivant une ligne de rivure voisine de la génératrice inférieure. La déchirure partant de l'avant a parcouru les deux premières feuilles; elle s'est arrêtée à la troisième en cisaillant la tôle à droite et à gauche le long de la rivure.	»	Défaut d'alimentation. — Les parois ont été surchauffées et quand l'eau a été introduite de nouveau la pression s'est relevée et a provoqué une déchirure dans les parois rougies.
12 octobre..	Mégisserie à Lyon.	Chaudière composée d'un corps cylindrique et de deux bouilleurs réchauffeurs situés à côté du corps principal et l'un au-dessus de l'autre. — Corps cylindrique, diamètre 0m,90 et longueur 6m,50. — Bouilleurs réchauffeurs : diamètre 0m,60 et longueur 7m,50. — Commu-	On alimentait quand le fond en fonte d'un des bouilleurs réchauffeurs s'est rompu.	Contre-maître et chauffeur tués.	Le fond qui s'est rompu présentait une soufflure intérieure qui constituait un point faible, cependant il avait résisté à l'épreuve. Il n'a pu céder que sous une pression considérable. L'obstruction du tube de niveau connue du chauffeur a pu le tromper sur la quantité

		nication entre les réchauffeurs et la chaudière établie par un tube de 3 centimètres de diamètre et de 7m,60 de longueur. Bouilleurs fermés par des fonds en fonte rivés à la partie cylindrique et portant des trous d'homme. — Épreuve en 1872 à 6 k.			d'eau; il est peu probable que l'arrivée de l'eau dans le corps cylindrique ait été l'occasion d'un développement abondant de vapeur. Il est plus vraisemblable que le tuyau, long, étroit et courbé plusieurs fois à angle droit, qui réunissait le réchauffeur au corps principal, se soit trouvé obstrué ou très-rétréci par les dépôts détachés des parois et que l'action de la pompe alimentaire ait produit la pression qui a occasionné la rupture.
31 octobre..	Papeterie à Courcelles (Loir-et-Cher).	Générateur composé d'un corps principal avec deux bouilleurs et deux réchauffeurs. — Timbre 5 k. — Installation en 1877. — Le système de fermeture des bouilleurs consiste en une plaque de fonte elliptique serrée à l'aide de deux boulons à écrous qui traversent un étrier s'appuyant sur la face extérieure du bouilleur. — Le joint était fait d'un anneau de caoutchouc de 0m,03 de largeur; le cordon saillant venu de fonte avec la plaque et qui doit déterminer sa position laissait un jeu relativement grand et le caoutchouc n'était pas bien maintenu.	Un des côtés du caoutchouc du joint de l'autoclave a été chassé par la pression de la vapeur; l'eau de la chaudière s'est frayé un large passage.	Le chauffeur et son aide mortellement brûlés.	Disposition défectueuse de la plaque autoclave de fermeture de l'un des bouilleurs.
19 novembre	Aciérie à Mont-St-Martin (Meurthe-et-Moselle).	Chaudière cylindrique à fonds hémisphériques surmontée d'un dôme vertical avec un bouilleur et un réchauffeur. — Capacité 25 mètres cubes. — Surface de chauffe 90 mètres carrés. — Chaudière non rééprouvée après des réparations importantes.	Quelques secondes après l'ouverture du robinet d'alimentation, un bruit sourd et saccadé s'est fait entendre dans le réchauffeur, puis il s'est produit une explosion de ce réchauffeur. La première virole est restée rivée à la tête sur la moitié environ de sa circonférence, l'autre moitié s'était déchirée et développée. — La tête en fonte et cette première virole ont été projetées à 10m en avant du fourneau.	Dégâts matériels.	Fatigue de la tôle à la suite d'un service de quinze ans et défaut d'alimentation.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
20 novembre	Papeterie à Chatelaudren (Côtes-du-Nord).	Récipient cylindrique en fonte de $0^m,96$ de diamètre et $1^m,50$ de longueur placé au-dessus de six autres plus petits. — Fermeture à chaque bout par des tampons en fonte qui leur servent d'axes creux pour les communications de vapeur. — La vapeur arrive par le grand cylindre supérieur. — Eu égard à la disposition des tuyaux, la pression, nulle dans la bâche finale, croît dans chaque cylindre jusqu'au plus gros qui reçoit directement la vapeur. — Appareil non éprouvé.	**Un des tampons s'est détaché en se brisant en un grand nombre de fragments. Un grand nombre des ruptures passent par les trous des boulons. — Le cylindre, projeté en sens contraire, a traversé deux murs.**	**Un ouvrier tué.**	**Excès de pression de la vapeur.**
24 Décembre	[illegible]hisserie à Roanne.	Récipient à débouillir. — Corps cylindrique traversé par un tuyau central surmonté d'une pomme d'arrosoir pour l'introduction de la vapeur. — Diamètre $1^m,50$, profondeur $1^m,53$. — Le couvercle est une calotte avec flèche de $0^m,24$. Le bord de la calotte porte des entailles de 40 m/m de largeur et de 50 m/m de profondeur correspondant aux boulons de la cuve sur les flancs de laquelle les boulons sont fixés à charnière. — Appareil construit en 1877; non éprouvé.	**Sous la pression de 4 k. la flèche de la calotte a augmenté de 4 centimètres environ et le diamètre a subi dans un sens une réduction de longueur de 20 m/m, il en est résulté que la rondelle de l'écrou n'appuyait plus que de 7 m/m,5 sur les bords de l'entaille. — Le bord du couvercle et celui des entailles ont fléchi sous la pression des rondelles et laissé échapper successivement un grand nombre de boulons, les autres ont alors exercé sur la tôle du couvercle une pression qu'elle n'a pu supporter. — Arrachement du couvercle par**	**Dégâts matériels seulement.**	**Plusieurs vices de construction : couvercle d'une épaisseur insuffisante pour n'être pas consolidé par des armatures intérieures; — boulons trop près du bord des entailles et permettant au couvercle de s'échapper au moindre dérangement.**

31 décembre	Sucrerie à Crisolles (Oise).	Générateur composé d'un corps cylindrique de $1^m,10$ de diamètre et 9^m de longueur, et de deux bouilleurs de $0^m,65$ de diamètre et de 10^m de longueur	Le bouilleur de gauche s'est déchiré sur une longueur de $1^m,40$ suivant une ligne sinueuse voisine de la génératrice inférieure dans la partie située au-dessus du foyer. — Les appareils indicateurs de niveau fonctionnaient mal ou ne fonctionnaient pas	Le chauffeur et sa femme, ainsi qu'un autre ouvrier, morts des suites de leurs brûlures.	Défaut d'alimentation. — La tôle a rougi et s'est déchirée sous la pression ordinaire.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS (1)
1° Par nature d'établissements :			
Aciérie	1	»	»
Bateaux	2	14	17
Blanchisserie	1	»	»
Carrière	1	»	4
Cartonnerie	1	1	4
Distillerie	1	»	»
Elévation d'eau	1	»	1
Exploitation rurale	2	2	2
Fabrique de cotonnades	1	»	»
Fabrique d'engrais	1	1	»
Fabrique de graisse	1	1	»
Fabrique de pointes	1	1	»
Forges et laminoirs	1	»	»
Mégisserie	1	2	»
Moulin	1	1	»
Papeteries	2	3	»
Sucrerie	1	3	»
Teintureries et apprêts	5	1	2
Totaux	25	30	30
2° Par espèces d'appareils :			
Chaudières sans foyer intérieur :			
Horizontales non tubulaires, avec ou sans bouilleurs	6	7	1
Horizontales plus ou moins tubulaires, avec ou sans bouilleurs	3	2	4
Verticale	1	»	»
Chaudières avec foyer intérieur :			
Horizontale non tubulaire	1	»	»
Horizontales plus ou moins tubulaires	6	15	23
Verticale non tubulaire	1	2	1
Récipients	6	3	1
Appareils divers	1	1	»
Totaux	25	30	30

3° D'après les causes présumées (2)

Conditions défectueuses d'établissement :	
Construction, disposition, installation ou matières défectueuses	4
Conditions défectueuses d'entretien :	
Usure. — Fatigue ou amincissement du métal	2
Corrosion extérieure	1
Réparations non faites ou défectueuses	3
Congélation de l'eau pendant le chômage	3
Mauvais emploi des appareils :	
Manque d'eau (suivi ou non d'alimentation intempestive)	8
Excès de pression	4
Autres imprudences ou négligences	1
Causes restées inconnues	3

(1) On n'a inscrit comme blessés que ceux qui ont eu au moins 20 jours d'incapacité de travail.

(2) Le nombre total des causes est supérieur à celui des accidents, parce que le même accident a été quelquefois attribué à plusieurs causes réunies.

NOTE SUR L'APPAREIL COQUILLION
POUR L'ANALYSE DU GRISOU
ET SUR LES RÉACTIONS QUI S'Y PRODUISENT
EN PRÉSENCE
DE DIVERS MÉLANGES D'AIR ET D'HYDROGÈNE CARBONÉ

Par M. CASTEL, ingénieur en chef des mines.

M. le professeur Coquillion a imaginé, au commencement de l'année 1877, un procédé pour l'analyse pratique des mélanges d'air et de grisou. Il est fondé sur la propriété qu'ont les hydrogènes carbonés, en présence de l'oxygène et du fil de palladium porté au rouge, de se brûler complétement, en produisant de l'eau et de l'acide carbonique.

J'ai employé l'appareil Coquillion presque aussitôt après sa découverte, pour l'analyse de plusieurs mélanges d'air recueillis dans les mines de Saint-Étienne et pour un certain nombre d'expériences relatives au grisou. Mon attention a été bientôt appelée sur quelques faits en apparence anormaux, et j'ai été amené à ainsi étudier de plus près la théorie de l'appareil.

Ce sont les résultats de mes observations que je vais indiquer ci-après.

La théorie est très simple en principe.

Les opérations qui ont lieu dans l'appareil se faisant au-dessus de l'eau et les gaz étant par suite saturés d'humidité, la température étant d'ailleurs ramenée après l'opération au point qu'elle occupait primitivement, les volumes de gaz existants avant et après la combustion sont compa-

rables. Comme en outre la vapeur d'eau produite par la combustion se condense, il en résulte une diminution de volume correspondant à la quantité d'hydrogène carboné existant dans le mélange analysé, et qui peut lui servir de mesure.

Principe du procédé. — Le principe de cette mesure est basé, pour l'hydrogène protocarboné, sur la formule suivante :

Mélange à brûler. . . . . $\overbrace{50\bar{C} + 200\bar{H}}^{100\,\overline{C^2H^4}}$ + 200 vol. Ox (*).

Total . . . . 300 volumes

Produits de la combustion. $\overbrace{50\bar{C} + 100\bar{O}}^{100\,\overline{CO^2}}$ + $\overbrace{200\bar{H} + 100\bar{O}}^{200\,\overline{HO}}$ (condensé).

Total restant. . . . . 100 —

Diminution de volume. 200

Pour l'hydrogène bicarboné, la formule devient :

Mélange à brûler. . . . . $\overbrace{100\bar{C} + 200\bar{H}}^{100\,\overline{C^4H^4}}$ + $300\bar{O}$.

Total . . . . 400 volumes

Produit . . . . $\overbrace{100\bar{C} + 200\bar{O}}^{200\,\overline{CO^2}}$ + $\overbrace{200\bar{H} + 100\bar{O}}^{200\,\overline{HO}}$ (condensé).

Total restant. . . . . 200 —

Diminution de volume. 200

(*) La notation $\overbrace{50\bar{C} + 200\bar{H}}^{100\,\overline{C^2H^4}}$ indique que 100 volumes d'hydrogène protocarboné C^2H^4 renferment 50 volumes de vapeur de carbone $\bar{C}$ et 200 volumes d'hydrogène $\bar{H}$. Il en est de même pour les autres notations analogues. Elles ont pour but de faire ressortir le nombre de volumes de vapeur de carbone, d'hydrogène et d'oxygène en présence dans les réactions.

Pour connaître la quantité de gaz carbonés existant dans un mélange d'air, il n'y aura donc qu'à mesurer les volumes avant et après la combustion, à la même température et à la même pression, et à prendre la moitié de la diminution produite.

Description de l'appareil. — L'appareil destiné à mettre ce principe en pratique, et auquel M. Coquillion a donné le nom de grisoumètre, se compose de 3 parties :

1° Un tube mesureur vertical en verre, dont la partie médiane est formée d'un renflement cylindrique d'environ 18 centimètres cubes; la partie inférieure est un tube de diamètre moyen, portant des divisions dont chacune équivaut à un demi-centimètre cube, et qui sont subdivisées elles-mêmes en dix parties; ce tube est courbé à sa partie inférieure, et on peut y adapter un tube de caoutchouc partant d'un flacon à tubulure rempli d'eau. La partie supérieure du mesureur est un tube demi-capillaire, soudé sur un autre tube demi-capillaire horizontal; ce dernier porte deux robinets, un de chaque côté de la soudure. J'appellerai *a* le premier robinet, celui qui ferme le tube horizontal du côté de l'extérieur, et *b* le second.

La capacité du mesureur, depuis les robinets jusqu'au zéro placé au bas de l'échelle graduée, est de 25 centimètres cubes.

2° Une capacité cylindrique, ouverte d'un côté et munie de deux ajutages latéraux. Le bout ouvert est fermé par un bouchon en caoutchouc portant deux bornes en cuivre qui sont saillantes des deux côtés. Les extrémités des bornes sont reliées à l'intérieur par une spirale de palladium; les extrémités extérieures communiquent, au moyen de conducteurs, avec un commutateur relié à la pile.

Je donnerai à cette partie de l'appareil le nom de brûleur.

3° Un tube vertical de gros diamètre, d'une capacité de

plus de 25 centimètres cubes, soudé à sa partie supérieure à un tube ordinaire, lequel est recourbé en haut de façon à devenir horizontal. Le gros tube plonge dans une éprouvette remplie d'eau. Je donnerai à ce tube le nom de laboratoire.

Le brûleur est relié par des tubes en caoutchouc, d'une part au mesureur du côté du robinet *b*, de l'autre à l'extrémité supérieure et horizontale du laboratoire.

Le tout est disposé d'une manière fixe dans un cadre en bois, où l'on a creusé les cavités nécessaires pour y placer les différents tubes.

Cela posé, voici comment se conduira une opération.

Manœuvre de l'appareil. — Le niveau de l'eau dans le tube vertical du laboratoire doit préalablement être amené à la hauteur d'un repère fixe marqué sur le tube ou sur le cadre. Cela se fait très aisément en fermant le robinet *a*, ouvrant le robinet *b* et manœuvrant le flacon à tubulure jusqu'à ce que le niveau voulu soit atteint. On ferme alors le robinet *b*.

Il faut ensuite expulser du mesureur tout l'air qu'il contient. A cet effet le robinet *a* est ouvert, et on élève le flacon à tubulure jusqu'à ce que l'eau, montant dans le tube vertical et chassant l'air devant elle, ait rempli tout le tube horizontal et ait commencé à sortir par l'ajutage. On ferme alors le robinet *a*. L'appareil est prêt pour recevoir le nouveau mélange à analyser.

On a commencé par remplir de ce mélange, sur la cuve à eau, un tube d'au moins 25 centimètres cubes de capacité, terminé à sa partie supérieure en pointe ouverte, laquelle est engagée dans un petit tube en caoutchouc serré par une pince de Mohr. Cette espèce d'éprouvette à gaz ayant été fermée en bas par un bouchon en caoutchouc, on la plonge dans un verre à pied plein d'eau placé sous l'ajutage du mesureur. Elle est débouchée sous l'eau, puis fixée à l'aju-

tage par l'extrémité libre du petit tube de caoutchouc.

On ouvre alors le robinet *a*, puis on desserre la pince et on manœuvre le flacon à tubulure, de façon à faire passer dans le mesureur le gaz de l'éprouvette. Lorsque le mesureur est plein jusqu'aux environs de zéro, plutôt au-dessous qu'au-dessus, on laisse la pince se fermer et on ferme le robinet *a*.

On a alors dans le mesureur 25 centimètres cubes de gaz. Afin de connaître le volume exact, on laisse l'appareil en repos pendant un intervalle de 3 à 5 minutes. Ce temps est nécessaire pour que l'eau qui mouillait les parois du tube s'écoule jusqu'en bas. En général le volume ne varie plus au bout de 3', et il a alors diminué, par rapport au volume initial, d'environ 1/4 de centimètre cube. En tout cas on observe avec soin la division à laquelle le niveau de l'eau s'est arrêté.

Cela fait, on ouvre le robinet *b*; on fait passer le courant électrique qui fait rougir le fil de palladium, et l'on manœuvre le flacon à tubulure de façon à faire passer à plusieurs reprises le gaz à travers le brûleur. On peut considérer qu'il suffit de trois passages alternatifs pour que la combustion soit complète. Le courant électrique est suspendu, le fil redevient obscur. Il faut alors laisser refroidir le brûleur et le gaz de l'appareil. On favorise le refroidissement du brûleur en humectant sa surface à l'aide d'une petite éponge imbibée d'eau, que l'on peut laisser à son contact.

On peut considérer l'intervalle de 10' comme nécessaire pour le refroidissement complet et le retour du gaz à sa température initiale. Mais, avec un peu d'habitude de l'appareil, on arrive à connaître la diminution de volume correspondant aux dernières minutes. On peut alors, au bout de 4 à 5' seulement, ramener le gaz dans le mesureur, en ayant soin que son niveau dans le laboratoire corresponde à un repère inférieur au repère primitif d'une quantité que

l'expérience apprend à déterminer, et l'on ferme le robinet *b*. Il faut attendre encore 3′ pour laisser le niveau de l'eau se fixer dans le mesureur, et l'on observe alors la division à laquelle il s'est arrêté.

La comparaison de cette division avec le niveau initial permet de calculer la diminution de volume subie par le gaz pendant l'opération, et d'en déduire la proportion de carbure contenue dans le mélange analysé. Les divisions du mesureur sont d'ailleurs établies de telle façon que cette proportion est connue par la simple lecture.

En général une opération ne demande pas plus de douze minutes, quinze au maximum, et l'on peut en faire de quatre à cinq en une heure.

Causes d'erreur. — La principale, je puis dire presque la seule cause d'erreur dans les résultats donnés par l'appareil Coquillion, lorsqu'on a opéré convenablement pour les mesurages, consiste dans ce fait qu'une partie de l'acide carbonique produit se dissout dans l'eau de l'appareil. Il en résulte que le volume de gaz final est plus faible qu'il ne devrait l'être s'il n'y avait pas de dissolution; la diminution de volume constatée est donc trop forte; de là une erreur en trop sur la proportion de carbure.

On peut réduire l'erreur provenant de cette cause en employant dans l'appareil une eau aiguisée d'acide sulfurique, ce qui diminue sa faculté d'absorption pour l'acide carbonique. Mais elle n'est pas ainsi complétement supprimée. Il vaut mieux dès lors mesurer cette erreur, ce que l'on peut faire en ajoutant à l'appareil que j'ai décrit ci-dessus un tube à potasse pour l'absorption de l'acide.

Tube à potasse. — Ce tube à potasse qui plonge, comme le laboratoire, dans une éprouvette, se termine à sa partie supérieure par une partie semi-capillaire, soudée au tube horizontal du mesureur près et en dedans du robinet *b*.

Cette partie supérieure porte un robinet *c*. La partie inférieure renferme plusieurs tubes de verres fins, destinés à multiplier les surfaces de contact du gaz avec la dissolution de potasse.

Avant l'analyse on a soin de ramener le niveau de la dissolution dans la partie capillaire du tube à potasse à un repère fixe.

Après que la combustion a été opérée, et la diminution de volume mesurée, on ouvre le robinet *c*, et l'on fait passer le gaz dans le gros tube à potasse à deux ou trois reprises; puis on le ramène dans le mesureur en ayant soin que le niveau de la dissolution alcaline revienne à son point de départ; on ferme le robinet *c*, et l'on mesure de nouveau le volume du gaz au bout de 3 minutes.

Correction. Hydrogènes carbonés. — La nouvelle diminution de volume indique l'acide carbonique absorbé dans la potasse, mais non tout l'acide produit dans la combustion. Il est d'ailleurs important de noter que le volume donné par la nouvelle diminution observée doit être augmenté de la quantité de gaz acide resté dans le brûleur et le laboratoire, et qui se calcule aisément, lorsqu'on connaît le volume du brûleur.

Soit en effet V le volume du gaz restant après la combustion, d la diminution du volume observée après l'absorption par la potasse; u le volume du brûleur et du laboratoire jusqu'au repère; le volume total C d'acide carbonique à déduire de l'observation est

$$C = d\,\frac{V+u}{V}.$$

Soit maintenant

D la diminution de volume trouvée après la combustion,
C le volume d'acide carbonique calculé comme ci-dessus,
x le volume d'acide carbonique absorbé par l'eau de l'appareil.

La diminution de volume qu'on aurait dû trouver, et qui

doit servir de mesure au carbure d'hydrogène, est $D - x$; d'un autre côté le volume de l'acide carbonique produit est $C + x$.

Dans le cas d'un mélange ne renfermant que de l'hydrogène protocarboné, on doit avoir :

$$\frac{D-x}{2} = \text{le volume réel de l'hydrogène protocarboné} =$$

et

$$\frac{D-x}{2} = C + x, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{D-2C}{3},$$

$$g = \frac{D-x}{2} = \frac{D+C}{3}.$$

Dans le cas d'un mélange ne renfermant que de l'hydrogène bicarboné,

$$D - x = C + x, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{D-C}{2}.$$

et

$$G = \text{volume de l'hydrogène bicarboné} = \frac{D-x}{2} = \frac{D+C}{4}.$$

On voit que l'erreur commise dans la lecture, quand on se sert d'un appareil sans tube à potasse, est

$$\text{pour l'hydrogène protocarboné}, \quad \frac{x}{2} = \frac{D-2C}{6}.$$

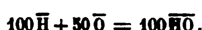
$$\text{pour l'hydrogène bicorboné}, \quad \frac{x'}{2} = \frac{D-C}{4}.$$

Un assez grand nombre d'expériences m'ont permis de m'assurer que la valeur d'x est en général très faible. Son rapport à la quantité d'hydrocarbure calculée avec correction est presque toujours inférieur à 1/20; en sorte que dans la pratique l'appareil sans tube à potasse donne des résultats suffisamment exacts, et dont l'approximation est de 2/10 à 3/10 pour 100.

Toutefois l'usage de ce tube présente de sérieux avantages lorsqu'on veut faire des analyses d'une exactitude plus rigoureuse. Il permet en outre de déterminer rapidement si le carbure auquel on a affaire est de l'hydrogène protocarboné, ou de l'hydrogène bicarboné ou un mélange

de ces deux gaz. Il peut servir également à déceler la présence de l'hydrogène pur et celle de l'oxyde de carbone.

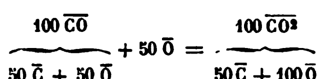
Hydrogène et oxyde de carbone. — Dans le cas de l'hydrogène la formule de la réaction est



$$100\overline{H} + 50\overline{O} = 100\overline{HO}.$$

La diminution du volume est de 150.

Dans le cas de l'oxyde de carbone, la formule sera



$$\underbrace{\overset{100\overline{CO}}{}}_{50\overline{C}+50\overline{O}} + 50\overline{O} = \underbrace{\overset{100\overline{CO^2}}{}}_{50\overline{C}+100\overline{O}}$$

La diminution de volume est 50.

Si donc dans une opération on obtient une diminution de volume sans formation d'acide carbonique, il n'existe dans le mélange comme gaz combustible que de l'hydrogène, et sa quantité est donnée par les deux tiers de la diminution de volume obtenue.

Si le volume d'acide carbonique formé est plus grand que la diminution observée après la combustion, on est en présence soit de l'oxyde de carbone pur, soit d'un mélange renfermant ce gaz.

Si le volume d'acide carbonique est compris entre la valeur de la diminution et sa moitié, c'est que le mélange renferme de l'hydrogène bicarboné; et la proportion de ce gaz est d'autant plus forte que les deux volumes se rapprochent davantage de l'égalité.

Enfin, si le volume de l'acide carbonique est inférieur à la moitié de la diminution observée, on doit en conclure à un mélange d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné.

Ces indications ne sont d'ailleurs en quelque sorte que provisoires. On comprend en effet que ce mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone peut donner, pour les rapports entre la diminution observée et l'acide carbonique,

des résultats identiques à ceux que donnerait l'hydrogène protocarboné ou l'hydrogène bicarboné, ou un mélange de ces deux gaz.

Il faut donc, pour une détermination exacte, avoir recours à d'autres moyens, et en particulier aux absorbants. Leur emploi, combiné avec l'appareil Coquillion, permet de faire une analyse à peu près complète.

Cette détermination n'a du reste besoin d'être faite que dans un nombre de cas fort restreint. La présence de l'hydrogène dans l'air des mines doit être considéré comme rare; celle de l'oxyde de carbone est elle-même peu fréquente. Dans la plupart des cas on n'a affaire qu'au grisou, c'est-à-dire à un mélange d'hydrogènes proto et bicarbonés, où le premier est très prédominant.

Fonctionnement de l'appareil. — L'appareil reste donc un instrument appelé à rendre de très grands services. Il permet de déterminer rapidement et avec une grande approximation la proportion de grisou même faible existant dans un mélange donné. On n'avait, avant sa découverte, aucun moyen commode et pratique de faire cette détermination, et l'on était obligé de s'en rapporter à peu près uniquement à l'essai de la lampe Davy, essai bien imparfait, car cette lampe ne commence à marquer que lorsque la proportion du gaz dangereux atteint 4 centièmes environ.

Il nous reste à voir dans quelles conditions et jusqu'à quelles limites l'appareil fonctionne régulièrement.

La théorie résultant de la formule citée plus haut indique qu'il faut pour la combustion complète de 100 volumes d'hydrogène protocarboné, 200 volumes d'oxygène, c'est-à-dire 906 volumes d'air atmosphérique, ce qui correspond à une proportion de 9,3 de carbure pour 100 du mélange. Tant que la quantité de grisou ne dépasse pas cette proportion, on peut compter que l'appareil donnera des résultats suffisamment exacts. Mais dès qu'elle la dé-

passe, comme la combustion est forcément incomplète, l'exactitude doit disparaître.

On remarque même, lorsque la proportion du gaz combustible devient très forte, qu'il n'y a plus de diminution de volume, et il finit par se produire une augmentation qui peut être considérable.

Expériences sur divers mélanges. — J'ai cherché à me rendre compte de ce qui se passait dans ces circonstances, et j'ai expérimenté à cet effet un certain nombre de mélanges composés de toutes pièces avec de l'air atmosphérique et des hydrogènes proto et bicarbonés fabriqués au laboratoire d'après les procédés connus.

Dans chacune des expériences dont je vais parler, j'ai commencé par purger complétement l'appareil des gaz impurs, acide carbonique ou autres provenant de l'opération précédente, et par remplir le brûleur et le laboratoire soit d'air pur, soit d'azote, suivant les cas. Je mentionne ici que le volume du brûleur et du laboratoire jusqu'au repère avait été déterminé par moi aussi exactement que possible.

Après avoir introduit dans le grisoumètre 25 centimètres cubes du mélange, je produisais la combustion, je mesurais la diminution ou l'augmentation de volume, puis l'acide carbonique; enfin, je recueillais le gaz restant. Il était soumis successivement, dans une série de petits appareils disposés à cet effet, à l'action des absorbants, en commençant par la potasse (pour l'acide carbonique, quand il n'avait pas pu être mesuré dans le grisoumètre), par le pyrogallate de potasse (pour l'oxygène non employé), et finissan par le protochlorure de cuivre (pour l'oxyde de carbone et l'hydrogène bicarboné). Il va sans dire que la diminution de volume produite par chacun des absorbants était mesurée, ainsi que le volume du résidu final.

Enfin ce résidu, mélangé à une proportion d'air suffi-

sante pour la combustion complète, était soumis à un dernier essai dans le grisoumètre, après que celui-ci avait été purgé et rempli d'air pur.

Les résultats obtenus dans ces divers essais étaient multipliés par un coefficient facile à déterminer, afin d'être rapportés au volume total du mesureur et du brûleur.

J'ajouterai que, dans les expériences faites sur les mélanges riches en carbure, une certaine quantité de carbone fixe se déposait sur le fil de palladium; ce fait était très reconnaissable à la couleur noire prise par le métal : le carbone était dosé dans une combustion spéciale après remplissage de l'appareil par de l'air pur.

Dans chaque expérience, les gaz à déterminer dans le produit de la combustion étaient : l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, l'hydrogène et les hydrogènes proto et bicarbonés non consommés, ainsi que l'oxygène restant, s'il y en avait.

Pour cette détermination, les éléments suivants étaient donnés par l'expérience.

L'acide carbonique et l'oxygène étaient mesurés directement;

Il en était de même pour la plus grande partie de l'oxyde de carbone ou du mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène bicarboné non consommé. Une petite partie de ces gaz, vu la difficulté de l'absorption par le chlorure de cuivre, restait dans le résidu final, et était comprise dans le dernier essai au grisoumètre.

La consommation connue d'oxygène donnait une relation entre l'hydrogène brûlé, l'acide carbonique et l'oxyde de carbone produits.

La diminution ou l'augmentation de volume produite dans la première opération au grisoumètre donnait une seconde relation entre les mêmes quantités et le carbure on consommé.

La répartition du carbone entre l'acide carbonique,

l'oxyde de carbone, le carbure non consommé et le carbone fixé sur le palladium donnait une troisième relation.

La seconde opération au grisoumètre donnait deux nouvelles relations entre l'hydrogène libre, le carbure non consommé et l'oxyde de carbone ayant échappé à l'absorption.

J'avais donc toutes les données nécessaires pour déterminer, à la suite de chaque expérience, les quantités des différents gaz existant dans le produit de la combustion.

Expériences sur l'hydrogène protocarboné. — Les expériences suivantes ont été faites sur l'hydrogène protocarboné. (*Nota.* — Dans l'indication des mélanges il est tenu compte de l'air contenu dans le brûleur et le laboratoire.)

I. Mélange de $20^{cc},25$ d'hydrogène protocarboné avec $46^{cc},28$ d'air (correspondant à 100 C^2H^4 pour 46,8 d'oxygène), traité en deux essais consécutifs. La pile était faible et ne donnait au fil de palladium qu'une couleur rouge peu intense.

	centim. cub.
Diminution de volume obtenue. . . .	6,73
Carbone fixé sur le palladium, correspondant à	0,575 de vapeu
Hydrogène protocarboné non consommé.	13,09
Acide carbonique.	1,13
Oxyde de carbone	5,46
Hydrogène libre	3,24
Eau produite (vapeur)	11,08

Ces résultats peuvent se représenter par la formule :

$$100\,\overline{C^2H^4} + 46,5\,\overline{O} = 65\,\overline{C^2H^4} + 6\,\overline{CO^2} + 27\,\overline{CO} + 16\,\overline{H} + 54\,\overline{HO} + 1,0\,\overline{C},$$

d'où résulte une diminution de volume de 33.

En retranchant de part et d'autre le carbure non consommé, il reste :



$$35\,\overline{C^2H^4} + 46,5\,\overline{O} = 6\,\overline{CO^2} + 27\,\overline{CO} + 16\,\overline{H} + 54\,\overline{HO} + 1\,\overline{C},$$

qui équivaut à

$$\underbrace{100\,\overline{C^2H^4}}_{50\,\overline{C}+200\,\overline{H}} + 131\,\overline{O} = \underbrace{16\,\overline{CO^2}}_{8\,\overline{C}+16\,\overline{O}} + \underbrace{76\,\overline{CO}}_{38\,\overline{C}+38\,\overline{O}} + 46\,\overline{H} + \underbrace{154\,\overline{HO}}_{77\,\overline{O}+154\,\overline{H}} + 6\,\overline{C}.$$

formule d'où ressort une diminution de volume de 93.

II. Mélange de $9^{cc},26$ d'hydrogène protocarboné avec $22^{cc},64$ d'air, correspondant à 100 $\overline{C^2H^4}$ pour 51,5 d'oxygène.

La pile était forte et donnait une forte couleur rouge au fil de palladium. Combustion sans accroissement d'éclat du fil. On a obtenu :

	centim. cub.
Augmentation de volume	10,8
C^2H^4 non consommé.	0,94
Pas d'acide carbonique.	
Oxyde de carbone	8,52
Hydrogène libre	15,51
Eau produite (vapeur).	1,14

d'où la formule

$$100\,\overline{C^2H^4} + 51,5\,\overline{O} = 10\,\overline{C^2H^4} + 90\,\overline{CO} + 167\,\overline{H} + 13\,\overline{HO}.$$

de laquelle ressort une augmentation de volume de 115,5.

En retranchant l'hydrocarbure non consommé, la formule devient :

$$90\,\overline{C^2H^4} + 51,5\,\overline{O} = 90\,\overline{CO} + 167\,\overline{H} + 13\,\overline{HO}.$$

d'où

$$\underbrace{100\,\overline{C^2H^4}}_{50\,\overline{C}+200\,\overline{H}} + 57\,\overline{O} = \underbrace{100\,\overline{CO}}_{50\,\overline{C}+50\,\overline{O}} + 186\,\overline{H} + \underbrace{14\,\overline{HO}}_{7\,\overline{O}+14\,\overline{H}}.$$

et augmentation de volume 129.

III. Mélange de $15^{cc},65$ d'hydrogène protocarboné avec 52,92 d'air, correspondant à 100 C^2H^4 pour 70,7 d'oxygène.

La pile est assez forte. La combustion est accompagnée d'un accroissement de température du fil de palladium, qui se manifeste par une augmentation d'éclat peu intense.

Résultats.

	centim. cub.
Augmentation de volume	9,7
C^2H^4 non consommé.	1,87
Acide carbonique.	0,11
Oxyde de carbone.	13,67
Hydrogène libre.	20,3
Eau produite (vapeur).	7,26
Oxygène non employé.	0,5

d'où la formule

$$100\overline{C^2H^4} + 70\overline{O} = 12\overline{C^2H^4} + 3\overline{O} + 1{,}0\overline{CO^2} + 87\overline{CO} + 131\overline{H} + 45\overline{HO}.$$

de laquelle ressort une augmentation de volume de 64.

Retranchant l'hydrocarbure et l'oxygène non consommés, la formule devient :

$$88\overline{C^2H^4} + 67\overline{O} = 1{,}0\overline{CO^2} + 87\overline{CO} + 131\overline{H} + 45\overline{HO},$$

d'où

$$\underbrace{100\overline{C^2H^4}}_{50\overline{C}+200\overline{H}} + 76\overline{O} = \underbrace{1{,}0\overline{CO^2}}_{0.5\overline{C}+1\overline{O}} + \underbrace{99\overline{CO}}_{49{,}5\overline{C}+49{,}5\overline{O}} + 149\overline{H} + \underbrace{51\overline{HO}}_{25{,}5\overline{O}+51\overline{H}}.$$

Augmentation de volume 73.

IV. Mélange de $7^{cc},54$ d'hydrogène protocarboné et $25^{cc},9$ d'air, correspondant à 100 $\overline{C^2H^4}$ pour 72 d'oxygène.

Pile faible. Il se dépose du carbone sur le palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume observée	1,52
Carbone fixé sur le palladium (vapeur) . .	0,11
Carbure non consommé.	3,13
Oxygène non employé.	0,535

		centim. cub
Acide carbonique	. . . .	0,53
Oxyde de carbone	. . . .	3,66
Hydrogène libre	. . . .	3,74
Eau produite (vapeur)	. . . .	5,08

d'où la formule

$$100\,\overline{C^7H^4}+72\,\overline{O} = 41\,\overline{C^2H^4}+7\,\overline{O}+7\,\overline{CO^2}+48\,\overline{CO}+50\,\overline{H}+68\,\overline{HO}+2\,\overline{C}.$$

qui correspond à une diminution de volume de 19.

Retranchant l'hydrocarbure et l'oxygène non employés, il reste

$$59\,\overline{C^2H^4} + 65\,\overline{O} = 7\,\overline{CO^2} + 48\,\overline{CO} + 50\,\overline{H} + 68\,\overline{HO} + 2\,\overline{C},$$

d'où

$$\overbrace{50\,\overline{C} + 200\,\overline{H}}^{100\,\overline{C^2H^4}} + 110\,\overline{O} = \overbrace{6\,\overline{C} + 12\,\overline{O}}^{12\,\overline{CO^2}} + \overbrace{40{,}5\,\overline{C} + 40{,}5\,\overline{O}}^{81\,\overline{CO}} + 85\,\overline{H} + \overbrace{57{,}5\,\overline{O} + 115\,\overline{H}}^{115\,\overline{HO}} + 3{,}5\,\overline{C},$$

formule qui donne une diminution de volume de 32.

V. Mélange de $7^{cc}{,}34$ d'hydrogène protocarboné et 25,48 d'air, correspondant à 100 $\overline{C^2H^4}$ pour 73 d'oxygène.

Pile assez forte. La combustion se fait avec augmentation de température et un vif éclat du fil de palladium.

Résultats.

		centim. cub.
Accroissement de volume	. . . .	6,7
Carbure non consommé	. . . .	0.053
Oxygène id.	. . . .	0,35
Acide carbonique	. . . .	0,154
Oxyde de carbone	. . . .	7,13
Hydrogène libre	. . . .	12,03
Eau produite (vapeur)	. . . .	2,54

d'où la formule

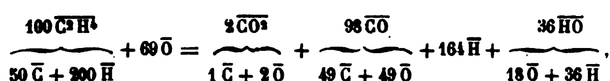
$$100\,\overline{C^2H^4} + 73\,\overline{O} = 1\,\overline{C^2H^4} + 5\,\overline{O} + 2\,\overline{CO^2} + 97\,\overline{CO} + 163\,\overline{H} + 35\,\overline{HO}.$$

qui correspond à un accroissement de volume de 95.

Retranchant l'hydrocarbure et l'oxygène non employés, il reste



d'où



formule qui donne une augmentation de volume de 95.

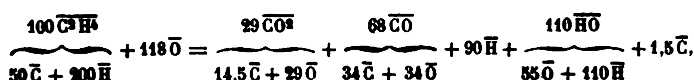
VI. Mélange de $10^{cc},83$ d'hydrogène protocarboné et $61^{cc},2$ d'air, correspondant à 100 $\overline{C^2H^4}$ + 118 $\bar{O}$.

Pile assez forte. La combustion est accompagnée au commencement d'un vif éclat du fil de palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume	3,39
Carbone déposé sur le palladium.	0,16
Acide carbonique	3,16
Oxyde de carbone	7,34
Hydrogène libre.	9,73
Eau produite (vapeur).	11,93

d'où la formule



et une diminution de volume de 31.

VII. Mélange de 9 centimètres cubes d'hydrogène protocarboné et $63^{cc},4$ d'air, correspondant à 100 $\overline{C^2H^4}$ + 148$\bar{O}$.

La combustion est accompagnée d'un vif éclat du fil de palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume.	10,8
Acide carbonique.	2,07

	centim. cub.
Oxyde de carbone	6,92
Hydrogène libre	2,47
Eau produite (vapeur)	15,52

d'où la formule

$$\underbrace{100\,\overline{C^2H^4}}_{50\,\overline{C}+200\,\overline{H}} + 148\,\overline{O} = \underbrace{23\,\overline{CO^2}}_{11{,}5\,\overline{C}+23\,\overline{O}} + \underbrace{77\,\overline{CO}}_{38{,}5\,\overline{C}+38{,}5\,\overline{O}} + 27\,\overline{H} + \underbrace{173\,\overline{HO}}_{86{,}5\,\overline{O}+173\,\overline{H}},$$

et diminution de volume 121.

VIII. Mélange de $8^{cc}{,}13$ d'hydrogène protocarboné et $65^{cc}{,}2$ d'air, correspondant à $100\,\overline{C^2H^4} + 165\,O$.

Combustion accompagné d'un vif éclat.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume	12,1
Acide carbonique	3,7
Oxyde de carbone	4,4
Hydrogène libre	1,24
Eau produite (vapeur)	15,02

d'où la formule

$$\underbrace{100\,\overline{C^2H^4}}_{50\,\overline{C}+200\,\overline{H}} + 165\,\overline{O} = \underbrace{46\,\overline{CO^2}}_{23\,\overline{C}+46\,\overline{O}} + \underbrace{54\,\overline{CO}}_{27\,\overline{C}+27\,\overline{O}} + 16\,\overline{H} + \underbrace{184\,\overline{HO}}_{92\,\overline{O}+184\,\overline{H}},$$

Diminution de volume 149.

IX. Mélange de $6^{cc}{,}69$ d'hydrogène protocarboné et 65 centimètres cubes d'air, correspondant à $100\,\overline{C^2H^4} + 203\,\overline{O}$.

Combustion accompagnée d'un vif éclat (rouge blanc) du fil de palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume	13,4
Oxygène non employé	0,32

	centim. cub.
Acide carbonique	6,33
Oxyde de carbone.	0,36
Eau produite (vapeur).	13,38

En ne tenant compte que de l'oxygène employé, on obtient la formule.

$$\underbrace{\overset{100\,\overline{C^2H^4}}{}}_{50\overline{C}+200\overline{H}} + 197\overline{O} = \underbrace{\overset{94\,\overline{CO^2}}{}}_{47\overline{C}+94\overline{O}} + \underbrace{\overset{6\,\overline{CO}}{}}_{3\overline{C}+3\overline{O}} + \underbrace{\overset{200\,\overline{HO}}{}}_{100\overline{O}+200\overline{H}},$$

Diminution de volume 197.

Expériences sur l'hydrogène bicarboné. — X. Mélange d'hydrogène bicarboné et d'azote.

Au contact du gaz, le fil de palladium, qui dans l'azote pur était porté par le courant électrique au rouge vif, passe au rouge presque sombre; le brûleur se remplit d'une buée blanche assez épaisse qui se condense sur les parois. Il se fait en outre un dépôt fuligineux. Il y a augmentation de volume de 12 p. 100.

Le fil de palladium se couvre d'un dépôt noir de carbone.

Il se forme une assez forte proportion de gaz acide.

XI. Mélange de $17^{cc},33$ d'hydrogène bicarboné et $44^{cc},9$ d'air, correspondant à $100\,\overline{C^4H^4} + 54\,\overline{O}$.

Résultats.

	centim. cub.
Augmentation de volume	18,25
Hydrogène bicarboné non employé. . . .	8,02
Oxygène non employé.	0,4
Carbone fixé sur le palladium (vapeur). .	0,6
Acide carbonique (ou gaz acide)	0,76
Oxyde de carbone.	16,55
Hydrogène libre.	18,6

d'où la formule

$$100\,\overline{C^4H^4} + 51\,\overline{O} = 46\,\overline{C^4H^4} + 2\,\overline{O} + 4\,\overline{CO^2} + 96\,\overline{CO} + 108\,\overline{H} + 4\,\overline{C},$$

donnant une augmentation de volume de 102.

XII. Mélange de $11^{cc},8$ d'hydrogène bicarboné et $49^{cc},4$ d'air, correspondant à $100\,\overline{C^4H^4} + 88\,\overline{O}$.

Résultats.

	centim. cub.
Augmentation de volume	21,7
Carbone fixé sur le palladium.	1,0 (vapeur)
Hydrogène bicarboné non employé. . . .	0,45
Pas d'acide carbonique	»
Oxyde de carbone	21,7
Hydrogène libre.	22,7

d'où la formule

$$\overbrace{100\,\overline{C}+200\,\overline{H}}^{100\,\overline{C^4H^4}} + 88\,\overline{O} = \overbrace{4\,\overline{C}+8\,\overline{H}}^{4\,\overline{C^4H^4}} + \overbrace{88\,\overline{C}+88\,\overline{O}}^{176\,\overline{CO}} + 192\,\overline{H} + 8\,\overline{C},$$

Augmentation de volume 184.

XIII. Mélange de $5^{cc},08$ d'hydrogène bicarboné et $25^{cc},65$ d'air, correspondant à $100\,\overline{C^4H^4} + 106\,\overline{O}$.

Augmentation de volume $7^{cc},9$, correspondant à 155 p. 100 d'hydrocarbure.

XIV. Mélange de $8^{cc},71$ d'hydrogène bicarboné et $63^{cc},4$ d'air, correspondant à $100\,\overline{C^4H^4} + 152\,\overline{O}$.

La pile s'est trouvée un peu faible dans cette expérience.

La combustion est accompagnée d'un accroissement d'éclat du fil de palladium, mais sans qu'il passe au rouge blanc ; il reste noir après l'opération.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume.	7,15
Carbone fixé sur le palladium (vapeur). .	1,34
Hydrogène bicarboné non employé. . . .	1,53
Acice carbonique	2,04
Oxyde de carbone.	9,62
Hydrogène libre	1,59
Eau produite (vapeur)	12,77

d'où la formule

$$100\overline{C^4H^4} + 152\overline{O} = 18\overline{C^4H^4} + 24\overline{CO^2} + 110\overline{CO} + 18\overline{H} + 146\overline{HO} + 15\overline{C},$$

correspondant à une diminution de volume de 82. En retranchant l'hydrocarbure non employé, cette formule devient

$$82\overline{C^4H^4} + 152\overline{O} = 24\overline{CO^2} + 110\overline{CO} + 18\overline{H} + 146\overline{HO} + 15\overline{C},$$

ou

$$\underbrace{100\overline{C^4H^4}}_{100\overline{C}+200\overline{H}} + 185\overline{O} = \underbrace{29\overline{CO^2}}_{14,5\overline{C}+29\overline{O}} + \underbrace{134\overline{CO}}_{67\overline{C}+67\overline{O}} + 22\overline{H} + \underbrace{178\overline{HO}}_{89\overline{O}+178\overline{H}} + 18,5\overline{C}.$$

d'où diminution de volume 100.

XV. Mélange de $6^{cc},72$ d'hydrogène bicarboné et $60^{cc}34$ d'air, correspondant à $100\ \overline{C^4H^4} + 187\ \overline{O}$.

Pile plus forte que dans l'expérience précédente. La combustion est accompagnée d'un vif éclat du fil de palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume.	2,0
Carbone déposé sur le fil (vapeur).	0,2
Oxygène non employé.	0,48
Hydrogène bicarboné non employé. . . .	0,03
Acide carbonique	1,75
Oxyde de carbone.	11,23
Hydrogène libre.	3,83
Eau produite (vapeur).	9.55

d'où, en supprimant l'hydrogène bicarboné et l'oxygène non employés, la formule

$$\underbrace{100\,\overline{C^4H^4}}_{100\,\overline{C}\,+\,200\,\overline{H}} + 182\,\overline{O} = \underbrace{26\,\overline{CO^2}}_{13\,\overline{C}\,+\,26\,\overline{O}} + \underbrace{168\,\overline{CO}}_{84\,\overline{C}\,+\,84\,\overline{O}} + 56\,\overline{H} + \underbrace{144\,\overline{HO}}_{72\,\overline{O}\,+\,144\,\overline{H}} + 3\,\overline{C},$$

qui indique une diminution de volume de 32.

XVI. Mélange de $6^{cc},55$ d'hydrogène bicarboné et $66^{cc},2$ d'air, ce qui correspond à $100\,\overline{C^4H^4} + 211\,\overline{O}$.

La combustion est accompagnée d'un vif éclat du fil de palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution de volume	7,125
Hydrogène bicarboné non employé . . .	0,85
Acide carbonique.	5,79
Oxyde de carbone	5,6
Hydrogène libre	0,98
Eau produite (vapeur)	10,42

d'où, en supprimant l'hydrogène bicarboné non employé, la formule :

$$\underbrace{100\,\overline{C^4H^4}}_{100\,\overline{C}\,+\,200\,\overline{H}} + 243\,\overline{O} = \underbrace{102\,\overline{CO^2}}_{51\,\overline{C}\,+\,102\,\overline{O}} + \underbrace{98\,\overline{CO}}_{49\,\overline{C}\,+\,49\,\overline{O}} + 18\,\overline{H} + \underbrace{182\,\overline{HO}}_{91\,\overline{O}\,+\,182\,\overline{H}},$$

d'où diminution de volume 125.

XVII. Mélange de $5^{cc},52$ d'hydrogène bicarboné et $66^{cc},4$ d'air, correspondant à $100\,\overline{C^4H^4} + 251\,\overline{O}$.

Combustion accompagnée d'un vif éclat du fil de palladium.

Résultats.

	centim. cub.
Diminution observée.	10,22
Hydrogène bicarboné non employé. . . .	0,78
Oxygène non employé.	1,09
Carbone fixé sur le palladium (vapeur). .	0,07
Acide carbonique produit.	6,8
Oxyde de carbone.	2,57

	centim. cub.
Hydrogène libre.	0,0
Eau produite vapeur)	9,48

d'où la formule

$$\overbrace{\ldots\;+200\bar{H}}^{\ldots\overline{C^4H^4}}+252\bar{O}=\overbrace{14\bar{C}+28\bar{H}}^{14\overline{C^4H^4}}+20\bar{O}+1,5\bar{C}+\overbrace{61,5\bar{C}+123\bar{O}}^{123\overline{CO^2}}+\overbrace{23\bar{C}+23\bar{O}}^{46\overline{CO}}+\overbrace{86\bar{O}+172\bar{H}}^{172\overline{HO}},$$

qui devient, en supprimant l'hydrogène bicarboné et l'oxygène non employés,

$$\overbrace{100\bar{C}+200\bar{H}}^{100\overline{C^4H^4}}+270\bar{O}=1,5\bar{C}+\overbrace{71,5\bar{C}+143\bar{O}}^{143\overline{CO^2}}+\overbrace{27\bar{C}+27\bar{O}}^{54\overline{CO}}+\overbrace{100\bar{O}+200\bar{H}}^{200\overline{HO}},$$

d'où résulte une diminution de volume de 173.

Conclusions. — Les résultats qui se dégagent des expériences ci-dessus sont assez nets au point de vue des réactions produites. Ils ne donnent pas sans doute une formule absolument constante, parce que la réaction dépend, non seulement de la proportion des gaz en présence, mais encore de la température du fil de palladium, qu'il est assez difficile de régler. Mais on peut néanmoins affirmer :

1° que, lorsque la quantité d'oxygène est très faible par rapport à celle de l'hydrogène protocarboné et inférieur au quart du volume nécessaire pour la combustion complète, une partie au moins de l'hydrocarbure est décomposée; il se forme de l'hydrogène libre; une quantité correspondante de carbone est transformée en oxyde de carbone absorbant tout l'oxygène; et du carbone fixe se dépose sur le fil.

La réaction est représentée par la formule :

$$\overbrace{\ldots\;200\bar{H}}^{\ldots\overline{C^2H^4}}+(50-n)\bar{O}=m\bar{C}+\overbrace{(50-n)\bar{C}+(50-n)\bar{O}}^{2(50-n)\overline{CO}}+\overbrace{(n-m)\bar{C}+4(n-m)\bar{H}}^{2(n-m)\overline{C^2H^4}}+[200-4(n-m)]\bar{H},$$

qui indique une augmentation de volume de 150 — 3 n

$+ 2m$; le maximum peut aller jusqu'à 150 pour $n = 0$.

Avec l'hydrogène bicarboné les mêmes effets se produiront si la quantité d'oxygène est inférieure au tiers de celle nécessaire pour la combustion totale, et la formule sera :

$$\underbrace{100\overline{C^4H^4}}_{100\overline{C}+200\overline{H}} + (100-n)\overline{O} = m\overline{C} + \underbrace{2(100-n)\overline{CO}}_{(100-n)\overline{C}+(100-n)\overline{O}} + \underbrace{(n-m)\overline{C^4H^4}}_{(n-m)\overline{C}+2(n-m)\overline{H}} + [200-2(n-$$

correspondant à un accroissement de volume de $200 - 2n + m$, dont le maximum est 200.

Avec un courant de faible intensité, la réaction pourra être sensiblement différente de ce qu'elle est avec un fort courant. La quantité d'hydrocarbure restée libre et non décomposée augmente dans ce cas, ainsi que la proportion du carbone déposé sur le palladium.

2° Lorsque la proportion d'oxygène augmente et devient supérieure au quart de celle qui est nécessaire à la combustion complète du protocarbure, au tiers de la même quantité pour le bicarbure, c'est sur l'hydrogène que se porte d'abord l'excès d'oxygène ; une petite partie seulement se combine avec l'oxyde de carbone pour former de l'acide carbonique. Autrement dit l'oxygène se partage entre l'hydrogène et l'oxyde de carbone, mais dans une proportion beaucoup plus forte pour le premier que pour le second, et l'hydrogène est converti entièrement en eau avant que l'oxyde de carbone le soit en acide carbonique.

La température du fil de palladium et par suite l'intensité du courant électrique continuent à influer sur la réaction. Avec un courant faible, le dépôt de carbone est plus abondant, et il se forme moins d'acide carbonique.

L'augmentation de volume qui résulte de la combustion va en diminuant au fur et à mesure que la proportion d'oxygène s'accroît. Elle devient nulle pour une proportion de 100 à 105 d'oxygène, s'il s'agit d'hydrogène protocarboné, ou de 160 à 170, s'il s'agit d'hydrogène bicarboné.

A partir de ce moment il y a une diminution de volume

d'autant plus forte qu'il y a plus d'oxygène, jusqu'à ce qu'elle atteigne 200 p. 100 d'hydrocarbure.

Il est à noter que la réaction est accompagnée d'un dégagement de chaleur qui se traduit par un accroissement d'éclat du fil de palladium; cet éclat est très vif lorsque la quantité d'oxygène approche de la proportion nécessaire pour la combustion complète.

3° En supposant l'emploi d'une pile d'une intensité convenable, et en faisant abstraction du dépôt de carbone qui dans ce cas sera toujours faible, l'augmentation et la diminution du volume résultant de la réaction seront assez bien représentées par les formules suivantes :

Pour l'hydrogène protocarboné :

$$D_{50+n} = -150 + 3{,}083\,n - 0\,0000333\,n^2.$$

et pour l'hydrogène bicarboné

$$D_{100+n} = -200 + 3{,}92\,n - 0{,}0159\,n^2 + 0{,}0000316\,n^3,$$

formules dans lesquelles $50+n$ et $100+n$ représentent respectivement les quantités d'oxygène du mélange correspondant à 100 d'hydrocarbure.

Les valeurs positives de D indiquent les diminutions de volume; les valeurs négatives indiquent les augmentations.

D'un autre côté les quantités d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et d'hydrogène libre formées dans la réaction sont en rapport simple avec la valeur de D. Elles seront exprimées par les formules suivantes :

Pour l'hydrogène protocarboné :

$$\overline{CO^2} = 3n - D_{50+n} - 150,$$
$$\overline{CO} = D_{50+n} + 250 - 3n,$$
$$\overline{H} = 50 + n - D_{50+n}.$$

Pour l'hydrogène bicarboné :

$$\overline{CO^2} = 3n - D_{100+n} - 200,$$
$$\overline{CO} = 400 + D_{100+n} - 3n,$$
$$\overline{H} = n - D_{100+n}.$$

4° Il serait intéressant de rechercher si, en dehors de l'influence du fil de palladium et sous la seule influence soit de l'étincelle électrique, comme dans l'endiomètre, soit d'un moyen quelconque d'inflammation des mélanges gazeux, les réactions produites seraient les mêmes. Cette recherche aurait un intérêt particulier au point de vue des explosions de grisou dans l'intérieur des mines.

On sait que le grisou peut faire explosion entre certaines limites de proportion d'air et de gaz. La limite supérieure est généralement admise comme étant de 17 de grisou p. 100 d'air. Cette proportion correspond à 100 d'hydrogène protocarboné pour 125 d'oxygène. Nul doute que, dans ce cas, il ne se forme une très grande quantité d'oxyde de carbone, et que la production de ce gaz ne contribue à rendre les accidents extrêmement meurtriers.

LES LABORATOIRES
DE L'ÉCOLE NATIONALE DES MINES

Par M. Ad. CARNOT, ingénieur en chef des mines,
professeur à l'École des mines.

Les rapports les plus étroits unissent la chimie à la plupart des sciences et des arts industriels, qui sont spécialement étudiés à l'École des mines. Tantôt elle intervient pour déterminer la composition exacte des minéraux ou des roches, tantôt pour éclairer les réactions qui se passent dans le traitement métallurgique des minerais, tantôt pour rechercher les conditions qui ont dû présider à la formation des différentes parties de l'écorce terrestre et à celle des filons métallifères. Elle prête ainsi constamment son concours soit à la minéralogie, soit à la géologie, soit à l'exploitation des mines ou la métallurgie.

Aussi conçoit-on qu'il ait fallu donner dans les études de l'École des mines une place importante à l'enseignement théorique et pratique de la chimie.

Nous nous proposons d'indiquer ici tout d'abord comment est distribué cet enseignement et quelles sont les dispositions générales des laboratoires des élèves. Nous donnerons ensuite quelques détails sur le Bureau d'essai chargé de l'analyse des substances minérales. Nous terminerons en faisant l'historique de ces laboratoires et en rappelant les principaux travaux des savants qui les ont dirigés.

I

ENSEIGNEMENT DE LA CHIMIE

Pendant la durée des cours spéciaux de l'École des mines, c'est la *chimie analytique* ou *docimasie*, qui est particulièrement enseignée; mais son étude a été précédée et, en quelque sorte, préparée par les cours de *chimie générale*, que les élèves ont dû suivre d'abord dans les établissements d'instruction secondaire, ensuite pendant les deux années passées à l'École polytechnique ou pendant l'année préparatoire de l'École des mines.

Le cours de docimasie dure deux ans et comprend un peu plus de quatre-vingts leçons. Il embrasse tous les corps de la chimie inorganique, mais donne, comme de juste, une place prépondérante aux minéraux, aux minerais et aux produits d'usines qui intéressent le plus les ingénieurs.

Les exercices pratiques, qui doivent compter pour une grande part dans l'enseignement de l'École, sont placés sous la direction du professeur de docimasie, assisté du professeur de chimie générale et du préparateur de chimie. Au début ils ont pour objet la préparation de substances pures, qu'il faut extraire des minéraux plus ou moins complexes qui les renferment. Plus tard, lorsque le cours de docimasie est assez avancé et que, d'autre part, les jeunes gens se sont un peu formé la main aux opérations chimiques, on leur donne à faire ou des analyses complètes, se rapportant aux substances minérales les plus variées, ou des essais rapides, comme ceux qui conviennent le plus souvent à l'industrie.

Pendant la période d'hiver, comprenant les cinq mois de novembre à mars, les exercices de chimie alternent avec les travaux graphiques par séries de trois et de quatre semaines, et, chaque jour, les élèves peuvent y donner environ trois

heures entre les différentes leçons auxquelles ils doivent assister. Ils ont ainsi à consacrer au laboratoire dix semaines pendant la première année, dix semaines pendant la seconde et sept semaines pendant la troisième. En outre, à la suite des examens de première année, ils ont, pendant un mois, leurs journées entières occupées au travail du laboratoire.

C'est certainement assez pour qu'ils puissent acquérir une sérieuse instruction théorique et pratique. Aussi, sans affirmer que tous les élèves y deviennent d'excellents chimistes, on peut dire du moins que tous, à de très rares exceptions près, emportent de l'École une assez grande connaissance de la chimie et une habileté suffisante pour analyser avec exactitude les substances minérales diverses qu'ils peuvent être appelés à examiner dans leur carrière d'ingénieurs.

II

DISPOSITION DES LABORATOIRES

La construction des laboratoires de l'École des mines a été commencée en 1861 et terminée en 1866 ; on y a fait, en 1878, quelques aménagements nouveaux ; d'autres s'achèvent en ce moment même, nécessités par un changement d'affectation de différentes parties des bâtiments de l'École.

C'est le résultat final de ces remaniements successifs que nous allons indiquer brièvement, de manière à faire connaître les dispositions actuelles des laboratoires.

Le bâtiment, dans son ensemble, forme un vaste rectangle, dont deux côtés ont vue, à l'ouest et au nord, sur le jardin du Luxembourg, le troisième, au sud, sur le petit jardin de l'École des mines et le quatrième, à l'est, sur une large cour intérieure, qui le sépare du bâtiment d'administration de l'École.

Il se compose d'un soubassement, de deux étages et de combles.

Dans le soubassement se trouvent des magasins pour la verrerie, la porcelaine, les produits chimiques, etc., des salles destinées à la préparation des réactifs et de l'eau distillée, des laboratoires pour les professeurs de minéralogie et de métallurgie ; enfin, des magasins et des ateliers de menuiserie, de serrurerie et de peinture pour l'entretien des bâtiments et du matériel de l'École.

Le rez-de-chaussée comprend tous les laboratoires des élèves, celui du préparateur de chimie et les pièces destinées au bureau d'essai. Il est représenté par le dessin ci-joint (planche XI) ; nous reviendrons tout à l'heure sur ses dispositions.

On y accède par deux escaliers en pierre, W, X, situés à l'extrémité de galeries vitrées, de part et d'autre de la cour d'entrée, tandis que deux escaliers intérieurs, Y, Z, symétriquement placés au milieu des bâtiments, servent aux communications entre les étages, du soubassement aux combles.

Le premier étage renferme, à l'ouest et au nord, les laboratoires et cabinets des professeurs de docimasie, de chimie générale, de métallurgie, de minéralogie, et en outre un laboratoire mis à la disposition des ingénieurs des mines qui ne sont pas professeurs à l'École. A l'est, se trouvent les salles de dessin des élèves ; au sud, les collections de physique et de chimie, la bibliothèque et une salle destinée aux expériences de spectroscopie, de photographie, etc.

Le second étage est occupé par les logements du préparateur de chimie et du premier garçon des laboratoires, par des magasins, des salles de dessin destinées aux élèves des cours préparatoires, enfin par les bureaux de l'architecte de l'École.

Revenons maintenant à la distribution du rez-de-chaussée, figurée sur la planche XI.

Au centre des bâtiments est une cour rectangulaire, dont le sol est en béton et qui est couverte d'une toiture vitrée, en forme de lanterne pyramidale, portée par des colonnes creuses en fonte et une charpente en fer. Sur les longs côtés de cette cour s'ouvrent huit laboratoires parquetés, tous semblables entre eux (A, B, C, D, E, F, G, H) et deux salles réservées, l'une (I) à l'emploi du gaz pour certaines opérations, l'autre (J) au soufflage du verre; en K est un réservoir d'eau alimenté par les grands réservoirs du Panthéon; un second réservoir situé au-dessus de la pièce N' permet de fournir l'eau aux laboratoires du premier étage.

Chacun des huit laboratoires d'élèves renferme quatre places, en sorte que trente-deux élèves peuvent travailler simultanément sans se gêner les uns les autres. Ces laboratoires sont allongés et éclairés à leurs deux extrémités par de très larges et hautes baies vitrées, prenant jour au dehors et sur la cour couverte.

Sur l'une des longues faces de la pièce on voit quatre tables fixes en chêne, avec des meubles à tiroirs, des étagères et, au milieu, le casier à réactifs. La face opposée est occupé par le bain de sable, surmonté d'un séchoir à air chaud, par le four à moufle et un four pour l'évaporation des acides, enfin par la paillasse en briques portant trois fourneaux de calcination de dimensions différentes. Un tuyau horizontal, avec des ajutages à robinets, amène le gaz le long de la paillasse; des tubes de caoutchouc peuvent le conduire à des fourneaux portatifs, dont se servent les élèves; mais il leur est recommandé d'employer le plus souvent possible le charbon ou le coke, parce que, une fois sortis de l'École, ils peuvent être appelés à travailler dans des laboratoires d'usines, où ils n'auront le plus souvent à leur disposition que des combustibles industriels.

La cour couverte des laboratoires ne contenait d'abord qu'une vaste paillasse en briques, destinée à servir aux expériences qui devaient dégager des gaz nuisibles. Mais l'aérage de la cour était insuffisant pour évacuer rapidement ces vapeurs. On a cherché à remédier à cet inconvénient par la construction de huit cages vitrées (*i*), dans lesquelles se font les dégagements de chlore, d'hydrogène sulfuré, etc. On évite ainsi la diffusion de ces gaz dans l'atmosphère. Ils sont aspirés par les foyers de quatre bains de sable supplémentaires (*b*), dont les fumées vont se réunir, par des rampants inclinés, dans une cheminée centrale en tôle de cuivre (*m*). Des tuyaux et des robinets à gaz donnent toute facilité pour chauffer les appareils à l'intérieur des cages vitrées. Les parois de ces cages sont, comme celles des bains de sable, formées de plaques de lave émaillées, inaltérables et d'un nettoyage facile. De grandes tables de chêne, dont quelques-unes recouvertes de plaques d'ardoises, sont disposées dans la cour, de manière à permettre de monter des appareils volumineux, sans encombrer les paillasses des laboratoires.

Deux larges corridors donnent accès d'une part à la cour et de l'autre aux pièces dont il me reste à parler.

On trouve successivement à gauche : un laboratoire et un cabinet pour le préparateur de chimie (L, M) ; puis une salle de dépôt, où les garçons entretiennent un approvisionnement de verrerie, de porcelaine et de réactifs usuels pour la consommation journalière des élèves ; plus loin, une salle pour la préparation des cours de chimie (O) et un amphithéâtre (P), où se font tous les cours de l'année préparatoire.

Sur la façade opposée est située la forge (Q) ou, pour mieux dire, la salle destinée aux essais de minerais de fer par la voie sèche, avec un four à vent à tirage très énergique, un grand four à moufle et une paillasse où se trouve installée une trompe soufflante.

On voit ensuite deux petites pièces (R, S), qui servent de vestiaire pour les professeurs, et dont les murs sont garnis de meubles à tiroirs, affectés à la collection méthodique des échantillons qui ont été examinés au Bureau d'essai.

Enfin, près de la porte d'entrée, se trouvent deux laboratoires (T, U), où travaillent les chimistes du Bureau d'essai, et un cabinet (V), où sont rangés dans des armoires les balances de précision, les échantillons non encore analysés et les registres sur lesquels on inscrit l'origine de tous les échantillons admis au laboratoire et les résultats d'analyses.

III

BUREAU D'ESSAI POUR LES SUBSTANCES MINÉRALES

Le *Bureau d'essai* de l'École des mines a été institué en 1845 par arrêté du ministre des travaux publics, et spécialement destiné à l'examen des substances minérales. Il est placé, comme les laboratoires des élèves, sous la direction du professeur de docimasie.

Il n'est pas seulement destiné à répondre aux questions que peuvent lui soumettre les différentes administrations publiques, travaux publics, guerre, marine, douane, octrois, etc.; mais les particuliers, les ingénieurs, les directeurs de mines ou d'usines, les industriels, les agriculteurs, tous peuvent y recourir, pour demander l'analyse des substances dont ils ont intérêt à connaître la composition. Le règlement exige seulement que les échantillons remis à l'École des mines soient accompagnés de l'indication exacte de leur origine. L'entrée des échantillons est alors inscrite sur les registres, l'examen est fait suivant leur rang d'inscription et les résultats de l'analyse sont envoyés à la personne qui en a fait la demande, sans qu'il y ait jamais lieu à rétribution d'aucune sorte.

Avec une pareille libéralité, il est facile de concevoir que le bureau d'essai de l'École des mines soit fréquemment consulté et qu'il puisse rendre à l'industrie nationale d'importants services. Faut-il ajouter que le savoir des chimistes, qui y consacrent leur temps et leur travail, et les traditions qui s'y perpétuent depuis sa fondation donnent au public toutes les garanties désirables pour l'exactitude des analyses ?

Ces chimistes sont au nombre de deux seulement ; nombre insuffisant à la vérité, car ce n'est que par un effort incessant qu'il leur est possible de suffire à la tâche, et le service pourrait se trouver compromis, s'il survenait une cause accidentelle d'interruption ou de ralentissement dans leur activité.

On comprendra aisément l'importance du travail qu'ils ont à faire, quand on saura que le nombre des échantillons soumis à l'examen du bureau d'essai pendant ses 36 années d'existence atteint presque 25.000, ce qui correspond à une moyenne annuelle de près de 700. Cette moyenne a même été dépassée dans les dernières années ; en 1880, par exemple, on n'a pas examiné moins de 767 échantillons ; en 1881 le nombre s'est élevé à 817.

Remarquons d'ailleurs qu'une bonne partie des substances présentées demandent des analyses longues et minutieuses. Faut-il citer les eaux minérales, dont la composition est si souvent complexe ; les eaux potables, destinées à l'alimentation des villes ; les alliages variés, que l'industrie emploie journellement ou qu'elle essaie de créer en vue d'applications nouvelles ; les aciers et les fontes, dont les qualités peuvent être profondément modifiées par quelques dix-millièmes de carbone, de silicium, de soufre, de phosphore ou de divers métaux ? Les autres substances, dont l'analyse se présente le plus fréquemment, sont les minerais de fer, de manganèse, de cuivre, de plomb, de zinc, d'argent, d'or et de tous les métaux plus ou moins

rares utilisés dans les arts industriels ; puis les argiles, les kaolins, les calcaires, les chaux grasses ou hydrauliques, les ciments, les combustibles minéraux, les phosphates de chaux, les terres végétales, etc. Souvent les analyses du bureau d'essai ont pour objet de servir à des recherches scientifiques se rapportant à la géologie ou à la métallurgie. Enfin, depuis quelques années, il prête son concours au service central de la Carte géologique de France, qui juge souvent utile de contrôler, par l'analyse chimique, les présomptions fournies par l'étude stratigraphique des terrains ou par l'examen physique des roches.

Le tableau suivant présente le nombre des échantillons qui ont été soumis à l'examen du bureau d'essai, depuis sa fondation jusqu'en 1881, groupés suivant leur nature :

Nature des échantillons.	Nombre.
Alliages métalliques	497
Argiles, kaolins, roches silicatées	1.911
Calcaires à chaux grasse, chaux	961
Calcaires à chaux hydraulique, ciments	1.506
Combustibles minéraux	2.565
Eaux minérales, eaux potables	1.118
Fontes, aciers, métaux divers	534
Minerais d'antimoine, de bismuth	89
— d'argent	594
— de chrome, de cobalt, de nickel	349
— de cuivre	2.191
— d'étain	228
— de fer	3.942
— de manganèse	337
— de mercure	69
— d'or	939
— de plomb	3.224
— de zinc	744
Phosphates, engrais minéraux, terres végétales	647
Pyrites de fer, pyrites arsenicales	594
Sel marin, sels divers	284
Échantillons divers	1.443
	24.766

HISTORIQUE

Pour compléter cette notice sur les laboratoires de l'École des mines, je ferai connaître leur histoire, qui n'a pas été écrite jusqu'ici.

L'École des mines fut instituée par un arrêt du Conseil d'État du roi du 19 mars 1783; elle avait son siège à l'Hôtel des Monnaies de Paris. Deux professeurs y furent attachés, l'un pour la chimie, la docimasie et la minéralogie, l'autre pour la physique, la géométrie souterraine, l'hydraulique et l'exploitation proprement dite. Ces deux professeurs furent Sage et Duhamel.

Fermée en 1790, l'École fut réorganisée en 1794, par arrêté du Comité de Salut Public du 13 messidor an II, dans l'hôtel Mouchy, situé rue de l'Université, n° 293, et occupé aujourd'hui par le Dépôt de la Guerre. Quatre cours publics et gratuits y étaient ouverts : « le premier ayant pour objet la docimasie ou l'essai des mines.....; le deuxième la minéralogie et la géographie physique.....; le troisième l'extraction des mines.....; le quatrième la métallurgie ou le traitement des substances minérales en grand..... » Il y eut aussi des cours publics de mathématiques, de physique et de stéréotomie.

Ce fut Vauquelin qui fut chargé du cours de docimasie; il eut pour collègues à l'École des mines Haüy, Brongniart, Hassenfratz, Duhamel, Brochant de Villiers. Il cessa de professer en 1801 et fut remplacé par l'un de ses élèves, Collet-Descotils.

Mais, vers la même époque, un arrêté des consuls, en date du 12 février 1802 (28 pluviôse an X), décida que l'École des mines de Paris serait remplacée par deux écoles pratiques, l'une à Pesey (département du Mont-Blanc) pour l'exploitation des mines de plomb, cuivre, argent et des sources salées, — l'autre à Geislautern (département de la

Sarre) pour le traitement des mines de fer et l'exploitation de la houille. Cette seconde école ne fut point ouverte; celle de Pesey fonctionna jusqu'en 1815. On avait heureusement conservé à Paris, dans l'hôtel Mouchy, la belle collection de minéraux, que l'on y avait établie en l'an III, et le laboratoire de chimie, où vinrent travailler Berthier et Guényveau.

Après la Restauration, la France ayant perdu, avec les conquêtes de la République, l'École pratique de Pesey et celle qui s'organisait à Geislautern, le gouvernement jugea urgent de rétablir en France l'enseignement de l'art des mines. Une ordonnance royale du 2 août 1816 créa d'abord une École de mineurs à Saint-Étienne (Loire); une autre ordonnance du 5 décembre 1816 rétablit à Paris l'École des mines, où furent nommés professeurs Hassenfratz, Baillet, Brochant et Berthier; ce dernier succédait à Descotils, mort en mai 1816.

L'École des mines fut installée, à titre provisoire, dans le local qu'elle occupe encore aujourd'hui. Il portait alors le n° 34 de la rue d'Enfer et était connu sous le nom d'hôtel Vendôme. Cet hôtel, pris d'abord à bail, fut acquis plus tard par l'État, en vertu d'une loi du 12 juillet 1837, pour servir à l'établissement définitif de l'École des mines. Il reçut dans la suite les développements successifs qui amenèrent peu à peu les collections et les laboratoires jusqu'à leur état actuel.

Berthier resta professeur de docimasie et directeur actif des travaux de chimie jusqu'en 1838; il garda ensuite le titre de professeur et de chef des laboratoires, avec l'aide d'un adjoint, qui fut Victor Regnault jusqu'en 1841 et, après lui, Ebelmen jusqu'en 1845.

A la retraite de Berthier, Ebelmen devint professeur titulaire. Rivot lui fut adjoint pour la direction pratique du travail des élèves et fut en même temps chargé de la di-

rection du bureau d'essai pour les substances minérales, qui venait d'être créé (1845).

Mais, peu d'années après, Ebelmen était enlevé à la science par une mort prématurée (1852) et Rivot demeurait investi des doubles fonctions de professeur de docimasie et de directeur des travaux chimiques des élèves et du bureau d'essai, fonctions très intéressantes sans doute et bien faites assurément pour exercer le professeur à résoudre toutes les difficultés pratiques de l'analyse, mais aussi très fatigantes à cause du travail incessant qu'elles réclament et de la responsabilité morale dont se trouve chargé le directeur des essais.

Grâce à une grande puissance de travail, Rivot put suffire à la tâche pendant dix-sept ans. Mais il succomba en 1869, encore dans la force de l'âge, laissant pour successeur M. Moissenet, qui le secondait, depuis treize ans déjà, comme professeur de chimie générale et adjoint au service du bureau d'essai.

Chargé de ces mêmes fonctions en 1868, je devins à mon tour, en 1876, directeur des laboratoires et du bureau d'essai et professeur de docimasie, lorsque M. Moissenet se retira, ne jugeant pas que sa santé lui permît de conserver plus longtemps un service aussi attachant.

Pendant la direction de Rivot, les laboratoires de l'École des mines éprouvèrent une tranformation complète. L'augmentation graduelle du nombre des élèves et l'importance croissante du bureau d'essai faisaient songer depuis longtemps à créer de nouveaux laboratoires, lorsqu'une solution plus radicale vint s'imposer. C'était en 1861; le percement du boulevard Saint-Michel allait détruire, avec l'ancienne rue d'Enfer, les deux ailes que l'on avait ajoutées à l'hôtel Vendôme et où avaient été établis nos laboratoires et nos salles de dessin. (J'étais à ce moment élève à l'École.) Il fallut songer à une reconstruction complète.

C'est alors que, mettant à profit les études comparatives qu'il avait faites des laboratoires de l'Allemagne, de l'Angleterre et des États-Unis, Rivot, d'accord avec M. l'architecte Vallez, fit adopter le plan général et les dispositions de détail du nouveau bâtiment des laboratoires. La construction en fut terminée en 1866 (*).

Depuis cette époque, on y a introduit quelques améliorations.

En 1878, conformément aux projets étudiés par MM. Moissenet et Vallez, on a construit dans la cour centrale les bains de sable et les cages vitrées, dont j'ai parlé plus haut, afin d'éviter le mélange des gaz ou vapeurs nuisibles avec l'atmosphère que respirent les élèves.

En 1880 et 1881 se sont décidés et exécutés de nouveaux aménagements, qui ont eu pour résultat de grouper dans les étages supérieurs du bâtiment des laboratoires toutes les salles de dessin des élèves et de transférer dans le même bâtiment les laboratoires de minéralogie, mais dont le but principal a été de rendre disponible, dans le corps principal de l'ancien hôtel Vendôme, un espace assez vaste pour le développement à prévoir des magnifiques collections de minéralogie, de géologie et de paléontologie.

Les travaux scientifiques sortis des laboratoires de l'École des mines ont pour caractère commun d'avoir été moins des études de chimie pure que des applications de la chimie aux sciences ou aux arts qui touchent aux substances minérales. Ce sont tantôt des découvertes ou des perfectionnements de méthodes d'analyse, tantôt des recherches ayant pour objet d'éclairer certaines questions de minéralogie ou de géologie, d'agriculture, de métallurgie, etc.

(*) *Note sur les laboratoires de l'École impériale des mines de Paris*, publiée en 1867, à l'occasion de l'Exposition universelle, par M. Rivot, professeur de docimasie.

Vauquelin a marqué sa place dans la science, non seulement par la découverte du chrome et de la glucine, mais aussi par des analyses nombreuses et d'une exactitude remarquable pour l'époque; ses travaux chimiques ont rendu de grands services à la médecine, à l'économie domestique et aux arts industriels.

Descotils a marché dans la même voie et a surtout travaillé au progrès des industries chimiques.

Ses successeurs furent tous des ingénieurs appartenant au corps des mines et leur marque originelle, pour ainsi dire, se retrouve dans toutes leurs œuvres.

Berthier, pendant sa longue carrière scientifique, a rendu les plus signalés services, tant à la minéralogie et à la docimasie qu'à l'agriculture et à la métallurgie; il a fait connaître la véritable constitution de beaucoup de minéraux et surtout de minerais utiles; il a consigné, dans son excellent *Traité des essais par la voie sèche*, les nombreuses observations qu'il avait faites et les procédés d'essai qu'il avait employés; citons parmi eux la méthode simple, qui a gardé son nom pour la détermination du pouvoir calorifique des combustibles. Il a éveillé l'attention sur le rôle important des phosphates et sur leur diffusion dans la nature. En comparant la composition de différents sols et celle des cendres d'un grand nombre de plantes et de graines, dont il avait fait l'analyse, il a inauguré un genre de recherches qui devait conduire à des résultats de la plus haute importance pour l'agriculture. Ses essais sur les silicates, ses analyses de produits d'usines, en même temps que sa parfaite connaissance des conditions pratiques de la métallurgie, le conduisirent à des vues nouvelles et précises sur les réactions qui se passent à l'intérieur des fourneaux, sur le genre de traitement à faire subir aux minerais de fer chargés de soufre ou de phosphore, sur l'utilisation des flammes des hauts-fourneaux, etc. On peut dire que, sur ces divers points, il a ouvert la voie, dans laquelle la mé-

tallurgie s'est engagée après lui et où elle a fait de si grands progrès depuis quelques années.

Victor Regnault n'a passé que peu de temps au laboratoire de l'École des mines; il y a marqué sa place par l'analyse rigoureuse de divers combustibles, anthracites, houilles, lignites, tourbes et bois, par ses recherches relatives à l'action de l'eau sur les métaux, par ses travaux devenus classiques sur la substitution progressive du chlore à l'hydrogène dans les hydrocarbures. Une brillante place lui était assurément réservée parmi les chimistes, si la suite de sa carrière n'avait été absorbée par les travaux de précision, qui l'ont placé au rang des premiers physiciens.

Ebelmen a été, sur plusieurs questions, le continuateur des idées de Berthier; mais il a trouvé, pour toutes les études qu'il a abordées, des voies nouvelles et originales. Appliquant l'analyse chimique aux produits de la combustion, il parvint à établir sur des bases certaines la théorie de la carbonisation du bois en meules, celle de la réduction des minerais de fer à l'intérieur des fauts-fourneaux, celle de l'affinage de la fonte; il démontra l'avantage que devait procurer l'emploi, non seulement des produits gazeux des hauts-fourneaux, mais aussi des gaz obtenus par la transformation des combustibles solides, et, comme consécration de la théorie, il conçut un premier type des appareils que l'on a appelés *générateurs de gaz*, et qui, perfectionnés depuis, sont devenus un si puissant moyen de progrès dans l'industrie.

Le génie inventif d'Ebelmen se révéla encore dans deux autres séries de recherches. Il fixa par de nombreuses analyses le mode d'altération qu'éprouvent les roches sous l'influence des agents atmosphériques. Il imagina, d'autre part, une méthode pour la production artificielle, à l'état cristallisé, des minéraux infusibles, tels que nos principales pierres gemmes; c'était le premier pas dans un domaine où la science a fait, après Ebelmen, de remarquables

conquêtes et où les savants français tiennent incontestablement la première place.

Rivot s'est à la fois signalé comme chimiste, comme métallurgiste et comme ingénieur. Il a fait de nombreux voyages et publié des études sur les gîtes métallifères, la préparation mécanique des minerais et leur traitement ; il a dirigé lui-même l'exploitation des filons de Vialas (Lozère), découvert leur prolongement dans le Rouvergue et laissé sur ces mines une monographie des plus remarquables. Il a écrit sur la métallurgie du cuivre, du plomb et de l'argent deux volumes pleins d'enseignements, où il examine en détail les principales méthodes de traitement des minerais et en fait connaître les avantages et les défauts, sans manquer de tenir compte des circonstances particulières où elles sont employées. Il a proposé lui-même pour les minerais d'or et d'argent de l'Amérique, de composition très complexe et rebelles aux procédés antérieurement essayés, une méthode nouvelle de traitement, dont sa mort est malheureusement venue interrompre la mise en pratique industrielle.

Rivot a introduit dans l'analyse chimique un assez grand nombre de procédés nouveaux de séparation et de dosage. Beaucoup d'autres, précédemment suivis, ont été par lui plus ou moins modifiés. Il a donné, dans son traité de *Docimasie*, l'ensemble des résultats auxquels il était parvenu, en utilisant les exemples si nombreux et si variés que lui fournissait l'analyse des échantillons présentés au bureau d'essai. Les méthodes qu'il a adoptées ne sont pas toujours les plus rapides, mais sont ordinairement d'une exécution assez simple; elles n'exigent l'emploi, ni de tours de main personnels, ni de dispositions spéciales d'appareils, et peuvent être appliquées dans tous les laboratoires d'ingénieurs. D'ailleurs Rivot, dans son ouvrage, a pris soin de discuter de près chacune d'elles et de faire ressortir les causes d'erreur qu'elle comporte. On lui a même

quelquefois reproché d'avoir poussé trop loin la sévérité de ses appréciations et d'avoir par là inspiré aux jeunes gens une défiance excessive à l'égard de l'analyse chimique. Mais en réalité il ne cherchait qu'à leur bien montrer à quel prix s'obtient l'exactitude des résultats.

Je ne poursuivrai pas plus loin cette revue historique des principaux travaux des ingénieurs qui ont dirigé les laboratoires de l'École des mines, ne voulant point parler de l'œuvre des successeurs vivants de Rivot. Ce qui précède suffira, je pense, à montrer l'exactitude de ce que j'ai dit au début sur le caractère particulier de ces travaux. L'instruction puisée à l'École, le commerce fréquent des autres ingénieurs, plus ou moins activement mêlés à l'industrie, le désir de contribuer eux-mêmes à l'avancement des sciences et des arts qu'ils voient cultiver autour d'eux, tout les conduit à donner un but pratique à leurs études plutôt qu'à se livrer aux spéculations de la science pure.

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS ARRIVÉS DANS LES MINES ET LES CARRIÈRES.

Extrait de rapports du ministre de l'intérieur approuvés par le Président de la République en 1879 et 1880 (*).

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées. MÉDAILLES en or.	MÉDAILLES en argent.	MENTIONS honorables. — LETTRES de félicitations.
		5 décembre 1878 (**). EURE.	classes		
NIBOUREL (Antoine),	Burey, 1 octobre 1877.	Se sont particulièrement distingués en travaillant au sauvetage d'un ouvrier puisatier enseveli sous les décombres d'un puits à eau éboulé durant le fonçage. (MM. Nibourel, Pondruel et Halipré sont déjà titulaires des deux médailles d'argent et de la médaille d'or de 2e classe.)	1re		
PONDRUEL (Jules),			1re		
HALIPRÉ (Jean-Bapt.),			[illegible]		
SCHEFFLER (André-Joseph), garde-mines;					Mention
FRANCHET (Christophe-Nicolas),				2e	
GIGUET (Valentin),				2e	
GIGUET (Pulchère),				2e	
GAUTIER (Louis), ouvriers.					Mention
		15 octobre 1879. HAUTE-SAÔNE.			
JUIF (Claude),	Ronchamp, 1er sept. 1879.	Ont fait preuve de courage en descendant dans le puits de Magny, afin de porter secours à des ouvriers mineurs surpris par une explosion de feu grisou et se sont dévoués pour organiser les travaux de sauvetage.		2e	
COUTURIER (Émile), maitres-mineurs, à Ronchamp.				2e	

(*) Cet extrait fait suite à celui qui a été publié dans le 1er volume de 1879, p. 589.
(**) Cette première mention comble une lacune du précédent état.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées. MÉDAILLES en or.	MÉDAILLES en argent.	MENTIONS honorables. — LETTRES de félicitations.
		12 novembre 1879.			
		BASSES-ALPES.	classes		
AWOGRADO (Carlo), cultivateur,	Saint-Jurs, 1er oct. 1878.	Ont fait preuve de dévouement pour sauver un ouvrier tombé asphyxié au fond d'un puits dans une plâtrière.		2e	
ROUX (Joseph), maçon,				2e	
DÉMOL (Louis), cultivateur, à St-Jurs,				2e	
ROUX (Siméon), actuellem. sap. au corps des sapeurs-pompiers de Paris.					Mention
		16 janvier 1880.			
		LOIRE.			
PORTAFAIX (Pierre), sous-gouverneur, à Terrenoire.	11 juill. 1879.	N'a pas craint d'exposer sa vie pour porter secours à des ouvriers en danger de périr dans une mine.		2e	
		PAS-DE-CALAIS.			
DEHAIT (Fidèle), ouv. min. à Courrières.	25 août 1879.	S'est signalé en dirigeant le sauvetage de deux ouvriers tombés asphyxiés au fond d'un puits de mine et dont un n'a pu être rappelé à la vie.			Mention
		16 juin 1880.			
		SEINE-INFÉRIEURE.			
SCHEFFLER (André-Joseph), garde-mines,	Anquetierville, nov. 1879.	Se sont particulièrement distingués en travaillant au sauvetage de deux ouvriers ensevelis sous un éboulement, dans une marnière souterraine. (M. Scheffler est déjà titulaire des deux médailles d'argent et de la médaille d'or de 2e classe.)	1re		
LEVESQUE (Eugène),				1re	
DEMEILLEZ (Napoléon), ouvr. à Anquetierville.				2e	
BELLANGER (Jules), agent voy. à Caudebec.				2e	

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées. Médailles en or.	Médailles en argent.	Mentions honorables. — Lettres de félicitations.
	31 juillet 1880.				
	GARD.		classes		
Peyre (Léon), ingénieur au puits Fontanes,	Houillères de Rochebelle et Cendras, puits Fontanes, 28 juill. 1879.	A fait les plus courageuses tentatives pour sauver trois ouvriers asphyxiés par le gaz au fond des galeries, et a rendu de très grands services pendant toute la durée des travaux entrepris pour retrouver les corps des victimes.	2e		
Gascuel (Augustin), maître-mineur au puits Fontanes,	Id.	Se sont particulièrement distingués en coopérant aux travaux de sauvetage.		1re	
Casenave (Martial), chef de poste aux mines de Rochebelle,				2e	
Beaufils (César), chef de poste au puits Fontanes,				2e	
Hillaire (Jean), forgeron,	Id.	Se sont fait remarquer par leur zèle lors du même accident.			Mention
Daniel (Frédéric), chef des ouvriers du fonçage.					
Combette (Casimir),					Id.
Daniel (Eugène),					Id.
Coubaud (Jacques), ouvriers du fonçage au puits Fontanes.					Id.
	ALLIER.				
Cognet (Gilbert), ouvrier, à Doyet.	Doyet, 18 nov. 1879.	A porté secours à deux de ses camarades surpris par un éboulement dans une houillère.		2e	
	14 octobre 1880.				
	INDRE-ET-LOIRE.				
Garnache Creuillot (Frédér.-Marie-Arthur), sous-lieut. au 32e rég. d'infanterie,	Vieux-Ports, 11 août 1880.	Ont, lors de l'écroulement des fours à chaux, opéré au péril de leur vie le sauvetage de plusieurs des victimes.		2e	
Berthault (J.-B.), caporal au 32e régiment d'infanterie,				2e	

NOMS, ...oms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées. MÉDAILLES en or.	en argent.	MENTIONS honorables. — LETTRES de félicitations.
		14 octobre 1880 (suite).			
		INDRE-ET-LOIRE.		classes	
BODET ...s-Henri-Prosper), ...RENEY (Henri), ...VEL (Germain), ...s au 32e régiment ...l'infanterie.	Vieux-Ports, 11 août 1880.	Ont, lors de l'écroulement des fours à chaux, opéré, au péril de leur vie, le sauvetage de plusieurs des victimes.		2e 2e 2e	
		10 novembre 1880.			
		INDRE-ET-LOIRE.			
...FRÈRE (Alexis), ...me à la compag. ...ndre-et-Loire.	Id.	S'est particulièrement distingué lors de l'écroulement des fours à chaux en sauvant deux ouvriers engagés sous les décombres.		2e	
		15 décembre 1880.			
		INDRE-ET-LOIRE.			
...ND (Gustave), ...ef de section, ...a compagnie ...de fer d'Orléans ...n résidence ...ellerault(Vienne).	Id.	A fait preuve d'un dévouement exceptionnel en organisant le sauvetage des victimes lors de l'écroulement des fours à chaux. Est constamment resté sur le lieu du sinistre et a, par son courage et son énergie, puissamment contribué à prévenir de nouveaux malheurs.		1re	
...TY, architecte ...de la ville ...Châtellerault.	Id.	N'a cessé, durant trois jours consécutifs, de diriger et de surveiller les travailleurs, s'exposant à chaque instant aux plus grands dangers.		2e	
...JDEAU (Octave), ...e paix du canton ...Sainte-Maure.	Id.	A donné les preuves du plus entier dévouement et rendu les services les plus précieux.			Félicitations
...DISCOMMUN, ...ssaire de police, ...hâtellerault.	Id.	Est accouru le premier sur le théâtre de l'accident et a montré beaucoup d'énergie et de décision dans les opérations des premières journées.			Id.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées. MÉDAILLES en or.	en argent.	MENTIONS honorable — LETTRES de félicitation
		15 décembre 1880 (suite).			
		INDRE-ET-LOIRE.	classes		
LA COMPAGNIE DES SAPEURS-POMPIERS DE SAINTE-MAURE (Indre-et-Loire),	Vieux-Ports, 11 août 1880.	Sont arrivées à la première nouvelle de l'accident et ont résolument installé leurs pompes sur les décombres fumantes pour tenter de noyer un approvisionnement de poudre de mine qu'on croyait déposé à proximité des travailleurs.			Félicitatio
LA COMPAGNIE DES SAPEURS-POMPIERS DES ORMES (Vienne).					Id.
BERNARD (Alexandre), chef d'équipe,	Id.	Ont constamment fait preuve d'un courageux dévouement.			Id.
CLÉMENT (Louis), poseur,					Id.
GAUTRON (Jacques), chef d'équipe,					Id.
BARDUREAU (Baptiste), poseur,					Id.
MARIAU (Jules), poseur à la compag. du ch. de fer d'Orléans.					Id.
VERNAT (Pierre),	Id.	A retiré l'une des victimes dans des conditions périlleuses.			Id.
CLÉMENT (François),	Id.	Se sont dans toutes les occasions montrés comme mineurs exceptionnellement dévoués.			Id.
BACHET (Pierre), ouvriers attachés aux chem. de fer de l'Etat.					Id.
ROBIN,	Id.	Ont exécuté avec promptitude et habileté une galerie dont l'établissement n'était pas sans danger.			Id.
TROTTELOT,					Id.
ARDON,					Id.
BOUCHET,					Id.
OUDRY,					Id.
CHOINEAU,					Id.
DUPUY,					Id.
ROBARD, ouvriers aux mines de Chalonnes.					Id.
BOURGOIGNON, interne à l'hôpital de Tours.	Id.	A fait preuve de zèle et de dévouement en prodiguant ses soins aux blessés.			Id.
		LOIRE.			
GUILLAUME fils (Ant.),	Mines de la Chazotte, puits Lucy, 28 avril 1880.	Se sont exposés aux plus grands dangers pour secourir quatre mineurs surpris par un éboulement au fond d'un puisard et dont deux ont succombé.		2e	
ROMEYER (Jean-Marie),				2e	
MAY (Joseph), ouvriers mineurs, à la Chazotte.				2e	

NOTE SUR UN FILON DE STRONTIANE SULFATÉE

Par M. LACHAT, ingénieur en chef des mines.

Il existe, sur la commune de Condorcet, arrondissement de Nyons (Drôme), un filon de sulfate de strontiane ou célestine dont l'épaisseur n'est pas moindre de 5 mètres. Dans les roches encaissantes du toit on rencontre d'innombrables veines de la même substance, et dans celles du mur, de nombreuses boules géodiques de marne intérieurement tapissées de célestine. Le filon qui, est associé à un puissant amas de gypse, avait été regardé autrefois comme formé de barytine, ou de calcaire cristallin, ou encore de dolomie, et comme il contient de la galène en mouches et souvent de la blende, des galeries de recherche y ont été anciennement pratiquées.

L'amas de gypse et le filon de sulfate de strontiane se montrent dans le ravin du Rouet, affluent du torrent du Merdrix, qui est lui-même tributaire du torrent du Bentrix ; l'amas est exploité pour plâtre. Une source minérale saline, qui émerge du milieu du filon, était déjà utilisée du temps des seigneurs de Condorcet ; elle a été captée et aménagée depuis environ 15 ans, et un établissement thermal, construit au débouché du ravin, y attire chaque année un certain nombre de baigneurs.

Si l'on fait une coupe le long de la vallée de l'Eygues, à l'amont de Nyons, on rencontre successivement, à partir de cette ville, des calcaires massifs formant la base de la molasse marine, le calcaire d'eau douce, des traces du terrain sidérolitique, une assise arénacée appartenant au grès vert, les calcaires et marnes du terrain néocomien, les calcaires massifs de l'oxfordien supérieur, enfin dans la vallée du Bentrix, les marnes de l'oxfordien inférieur. Jusque là toutes les couches plongent vers l'ouest, mais à partir du Bentrix la pente est vers l'est, et en remontant la vallée de l'Eygues jusqu'à Rosans (Hautes-Alpes), on rencontre la série inverse, marnes et calcaires oxfordiens, terrain néocomien, marnes aptiennes et grès vert. L'amas gypseux et le filon de sulfate de strontiane correspondent par conséquent à la ligne anticlinale de la selle, qui présente d'ailleurs les caractères d'une ligne de fracture.

L'amas de gypse a une épaisseur d'environ 50 mètres, et la direction générale est N.-N.-E.=S.-S.-O ; il paraît incliner vers

l'E.-S.-E., mais sa pente n'est pas éloignée de la verticale. Dans cette position, il aurait pour mur les marnes noires oxfordiennes et pour toit des calschistes de couleur moins foncée et de consistance plus ferme ; la différence d'aspect des calschistes et des marnes résulte peut-être de ce que ceux-là seraient métamorphiques, mais il est plus probable qu'ils appartiennent déjà au lias relevé par la fracture. Ces calschistes sont le premier terme de la série qui plonge vers l'est.

Le filon de sulfate de strontiane forme la zone du toit de l'amas gypseux, et il s'établit entre les deux un passage graduel ; près de la surface, le gypse est transformé en tuf empâtant de gros fragments anguleux de célestine inaltérée. L'ensemble de l'amas et du filon contraste vivement par sa couleur jaunâtre clair avec la couleur foncée des calschistes et surtout des marnes d'encaissement. Des efflorescences de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium recouvrent souvent cet amas et les marnes noires.

Dans le lit du ravin et sur les deux berges, le filon de sulfate de strontiane se présente en roche massive de 5 mètres d'épaisseur. Cette roche a une texture laminaire, fibro-lamellaire ou fibreuse ; sur les parois des fissures ou dans les petits vides que la texture cristalline détermine dans la masse, le sulfate de strontiane se présente très souvent en cristaux nets, rarement transparents, ou bien en fibre soyeuses. La roche est tantôt pure et alors d'un très beau blanc à peine azuré ; tantôt mêlée de lamelles de sidérose ou de dolomie et de parties marneuses, et alors elle est gris roussâtre veiné de blanc et d'un aspect qui rappelle l'anhydrite des Alpes. La densité est de 3,991, quand on opère sur la matière pure réduite en petits grains de la grosseur du chenevis, et de 3,519 quand on opère sur de plus gros fragments, toujours plus ou moins parsemés de petites géodes cristallines.

Le sulfate de strontiane blanc et pur est abondant et sa couleur est plus pure que celle des plus beaux échantillons de sulfate de baryte. Par ce caractère il remplacerait avantageusement cette dernière substance dans divers mélanges industriels, dans la céramique, dans les papeteries, et il est peu de filons barytiques qui puissent fournir une plus grande production que le gîte de Condorcet.

On a pu aisément confondre la roche de ce gîte avec de la barytine, et elle pourrait encore être prise pour de l'anhydrite. Elle diffère de ces deux substances :

1° Par sa densité ; celle de l'anhydrite est de 2,93, celle de la barytine de 4,60 ;

2° Par sa fusibilité plus grande que celle de la barytine, moindre que celle du sulfate de chaux;

3° Par sa solubilité dans une perle de soude au chalumeau, la chaux restant insoluble;

4° Par la couleur de sa flamme; la barytine donne une flamme vert livide, l'anhydrite une flamme rouge ponceau, bien différente de la flamme de la strontiane, qui est rouge carmin, et qui est plus étalée.

La roche de Condorcet ne tient pas de trace de baryte, mais l'essai au chalumeau indique quelquefois un peu de chaux. On a vu plus haut que le sulfate de strontiane contenait souvent des mouches isolées de galène et plus souvent encore de blende laminaire, mais on n'y rencontre ni pyrite, ni quartz.

Les calschistes qui forment l'éponte Est du filon sont traversés par un grand nombre de veines et de petits filons transversaux formés de célestine et de calcaire cristallin avec veinules de blende. L'injection se manifeste jusqu'à 200 à 300 mètres de distance du filon principal. Ces veines présentent des druses de calcaire en scalenoèdres aigus, sur lesquels sont couchés soit de longs cristaux de célestine, aplatis dans le sens du clivage facile, soit des houppes soyeuses de la même substance.

Dans les joints de fissure des calschistes ou à la surface des fragments, on observe souvent des enduits minces d'une substance blanc azuré, à éclat cireux et d'un aspect opalin qui produit un bel effet quand les enduits sont mouillés par la pluie; ces enduits que j'avais d'abord pris pour de l'allophane, me paraissent aujourd'hui n'être que de la célestine dissoute par les eaux de la surface et déposée ensuite par évaporation.

Enfin, dans les marnes noires oxfordiennes, on rencontre beaucoup de boules marneuses de $0^m,15$ à $0^m,20$ de diamètre, dont la surface est étoilée par des veines de sulfate de strontiane traversant la masse; quand on rompt ces boules, on trouve toujours dans l'intérieur une belle géode tapissée d'une fine épaisseur de sidérose rouge de cuivre, sur laquelle sont groupés des scalénoèdres aigus de calcaire et quelques rares, très petits et très éclatants cristaux de quartz; au-dessus des cristaux de calcaire s'élèvent en divergeant de jolis faisceaux de célestine fibreuse, qui forme le principal remplissage de la géode.

Jusqu'ici la célestine a été regardée comme ne faisant jamais partie du remplissage des filons, mais comme une substance accidentelle des terrains stratifiés, spécialement des terrains tertiaires. Ainsi la mine de soufre des Tapets, près d'Apt,

en contient de beaux cristaux limpides, et il en est de même des mines de Sicile qui appartiennent au même terrain tertiaire. Mais les caractères du gîte de Condorcet ne laissent aucun doute sur son origine filonienne : il traverse carrément les couches et tranche vivement avec les épontes ; il contient de la galène et de la blende, substances de filon ; le remplissage a une texture exclusivement cristalline ; enfin les calschites qui s'appuient contre le gîte sont sillonnés de veines transversales de célestine.

Ce gîte forme une roche fissurée comprise entre des épontes peu perméables, et, comme tel, établit un drainage dans les collines traversées et déverse les eaux dans le ravin du Rouet ; telle est l'origine de la source minérale de Condorcet. Comme le sulfate de strontiane est légèrement soluble, il n'est pas douteux que la source en contient une certaine proportion. La recherche des effets thérapeutiques de ce sel serait donc facile à Condorcet et les résultats en seraient intéressants.

(*Extrait de la* Revue savoisienne *du* 31 *juillet* 1881.)

L'EXPLOITATION DES MINES MÉTALLIQUES DANS LA GAULE.

Sur un assez grand nombre de points de la France, on retrouve les traces d'exploitations minières dont le souvenir a été complètement perdu par les habitants des localités voisines, et dont plusieurs remontent certainement à l'époque gauloise ou à l'époque romaine. M. Daubrée vient de réunir, dans une étude détaillée sur ce sujet et qui fait suite à l'*Aperçu historique sur l'exploitation des métaux dans la Gaule*, publié par lui il y a treize ans, une série de renseignements nouveaux qu'il a recueillis personnellement ou qui lui ont été communiqués par plusieurs ingénieurs. A mesure que l'attention a été appelée sur ces restes de l'industrie des populations qui ont jadis habité notre sol, on en a découvert des vestiges sur un plus grand nombre de points, et dans des régions où l'on en soupçonnait à peine l'existence. Il est à présumer que des recherches plus attentives auront pour effet d'amener des découvertes nouvelles et d'étendre nos connaissances sur les origines, naguère encore si peu connues, de notre industrie minière et métallurgique.

Or. — Outre l'Ariége, dont le nom indique le métal charrié par ses eaux, le Rhône et le Rhin, dont les sables ont été pendant

longtemps soumis au lavage, le Tarn, le Gardon, la Cèze et quelques cours d'eau du département du Gard, ont été jadis traités pour l'extraction de l'or.

Ce métal paraît avoir été également exploité en roche dans quelques régions où il se trouve associé au minerai d'étain, notamment dans le Morbihan et la Loire-Inférieure, et dans le Limousin, où le nom d'*Aurière* ou *Laurière* rappelle, sur un grand nombre de points, la nature des anciennes exploitations, décelées par des excavations plus ou moins étendues dont la signification est depuis longtemps oubliée.

Plomb et argent. — La galène argentifère a été exploitée dans plusieurs gisements des régions méridionale et occidentale de notre pays. Ainsi, dans le Rouergue, on a reconnu des traces de fouilles aux affleurements de plusieurs filons; autour de Villefranche, notamment, on a découvert de vieux travaux assez étendus, et dans ces travaux des outils en fer et des vases en terre de l'époque romaine, ainsi qu'un vase en plomb qui devait servir de lampe. L'argent était extrait du plomb, sans doute par coupellation, et l'on a retrouvé dans la même région un dépôt de plusieurs milliers de monnaies gauloises en argent, qui y avaient été frappées et étaient encore à fleur de coin.

Dans les Cévennes, l'exploitation de diverses mines, celles de Saint-Félix-de-Pallières, de Carnoulès, de Blatcouzel, entre autres, a fait retrouver des galeries et des cavités très vastes remontant à une époque très ancienne, et percées, soit au pic, soit avec le secours du feu. En général, la galène argentifère a été seule exploitée et le minerai de zinc a été abandonné ; sur quelques points cependant la calamine a été enlevée également par les anciens, et le gîte a été complètement dépilé.

A Melle, dans les Deux-Sèvres, on a reconnu dix-huit galeries et plusieurs puits creusés pour l'exploitation de la galène qui imprègne une couche de calcaire siliceux appartenant au lias ; ces travaux remontent au moins à l'époque romaine, et peut-être à l'époque gauloise ; d'après plusieurs indices, les opérations de fusion du minerai et de fabrication des monnaies d'argent devaient se faire dans la mine même.

A Alloue, près de Confolens, un gîte de même nature a été exploité partie à ciel ouvert, partie souterrainement, sans doute à la même époque.

Cuivre. — Les minerais de cuivre ont été l'objet d'exploita-

tions nombreuses, ouvertes à diverses altitudes dans toute l'étendue de la chaîne des Pyrénées et du massif des Corbières; ainsi, dans l'Aude et l'Ariége, plusieurs filons portent encore les traces de travaux, creusés sans doute par les Romains.

On trouve également dans l'Oisans des vestiges de travaux ayant pour but l'exploitation du même métal et des ruines indiquant l'existence d'établissements et d'ateliers de préparation mécanique d'une assez grande importance.

Étain. — Malgré son apparence pierreuse et son peu d'abondance, le minerai d'étain n'avait pas échappé à l'attention perspicace des anciens, et l'antiquité à laquelle remontent les premiers objets en bronze montre qu'ils ont su en tirer immédiatement parti.

Le Limousin a été le siège d'exploitations considérables, et l'on peut suivre encore les affleurements de plusieurs filons par les fouilles plus ou moins profondes qui les jalonnent; il est probable, en raison de l'absence totale de traditions, que ces travaux remontent à une époque très reculée.

Les gisements de la Lizolle, dans l'Allier, exploités aujourd'hui pour le kaolin, ont été aussi jadis le siège de travaux ayant pour but l'extraction du minerai d'étain, et l'on a retrouvé des vestiges des ateliers servant au lavage de la roche dans laquelle ce minerai est disséminé en très faible proportion.

Dans le Morbihan et la Loire-Inférieure, on a reconnu également des traces d'exploitations très anciennes, à La Villeder, où les travaux remonteraient à l'époque romaine, et à Piriac, où M. Muterse a découvert des traces qu'il rapporte à l'industrie métallurgique préhistorique : les roches granitiques présentent des surfaces planes et des bassins de diverses dimensions que l'on suppose avoir servi au bocardage, au lavage et à la fusion du minerai d'étain.

Fer. — Les minerais de fer, enfin, ont fait aussi sur beaucoup de points de notre pays l'objet d'exploitations plus ou moins importantes à une époque fort ancienne.

C'est ainsi que dans la Côte-d'Or on a retrouvé de nombreuses traces de forges gallo-romaines et de fouilles portant sur les couches ferrifères, et, parmi les amas de scories ou dans les anciens travaux, des monnaies romaines, des vases en terre, des outils en fer, haches et marteaux, et des pelles et sellettes en bois.

Les couches de fer oligiste et fer oxydulé, qu'on exploite dans les quartzites des environs de Segré (Maine-et-Loire), auraient également été le siège de travaux de mines à l'époque de l'occupation romaine, sinon même antérieurement.

Dans la Loire-Inférieure, près de Guérande, on a rencontré de petits lopins de fer étirés en pointe aux deux bouts, qui présentent une ressemblance singulière avec des lopins trouvés dans les fouilles de Khorsabad.

Dans le Cher, on a reconnu, dans la forêt d'Allogny, des amas immenses de scories, qui doivent dater de l'époque gallo-romaine.

A la mine de fer de Fraysse, près Alban, dans le Tarn, les travaux d'exploitation, portant sur un filon de fer carbonaté et d'hématite, ont fait découvrir d'anciennes galeries parfaitement conservées, présentant des traces d'abatage à l'aide du feu ; on y a retrouvé une lampe romaine, en terre cuite, portant une marque de fabrique reconnue déjà sur un grand nombre de lampes, dans diverses régions de notre pays, où le commerce les apportait.

Une lampe antique en terre a été aussi rencontrée dans les mines de Fillols (Pyrénées-Orientales), où l'on trouve du reste les vestiges de travaux considérables.

Enfin il y a lieu de citer, dans le Gard, la mine de fer de Palmesalade, où l'on a découvert dans les anciens travaux un vase en terre cuite, une masse en fer, et des restes d'un bûcher ayant servi à l'attaque de la roche par le feu.

Dans l'Aude, le Lot-et-Garonne, le Var, en Savoie et en Lorraine, il existe aussi des traces d'exploitations remontant à l'époque romaine ou même antérieures à l'occupation.

(*Extrait de la* Revue archéologique *des mois d'avril, mai et juin* 1881 : Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans la Gaule, *par* M. DAUBRÉE.)

R. Z.

GITES DE PÉTROLE DES LANDES DE LUNEBOURG.

On a constaté depuis longtemps l'existence du pétrole sur un certain nombre de points de la région nord-ouest de l'Allemagne, dans le Brunswick, le Hanovre et le Holstein. Le pétrole s'y montre soit en sources plus ou moins abondantes, soit imprégnant des sables, ou enfermé dans des couches argileuses ; on peut citer

notamment les environs de Verden, ceux de Peine dans le cercle de Hildesheim, ceux de Brunswick et de Hanovre. Toutes ces localités s'échelonnent à peu près exactement sur une ligne orientée du Nord-Ouest au Sud-Est, et les études faites par plusieurs géologues avaient fait naître l'espoir de rencontrer, en pratiquant des sondages, des gîtes d'une sérieuse importance industrielle.

En 1880, une Société fondée à Brême, la *Deutsche Petroleum Bohr Gesellschaft*, avait fait près de Peine des trous de sonde qui donnèrent des quantités assez considérables de pétrole; d'autres sondages furent faits, dans des terrains situés à proximité de ceux-ci, par M. Mohr, de Brême, et les résultats qu'ils ont donnés ont dépassé toutes les prévisions.

Le 21 juillet, à 11 heures du matin, on vit jaillir de l'un de ces sondages une énorme source de pétrole. Un jet, de la grosseur du bras, remplit en deux heures un bassin d'une contenance de 3000 kilogrammes, et vers le soir, à sept heures, on avait déjà recueilli 10.000 kilogrammes; on manqua alors malheureusement de barils pour recueillir le liquide débité. L'huile coula ensuite pendant toute la nuit, et le lendemain, à onze heures, la quantité recueillie s'élevait à 50.000 kilogrammes.

Du 21 au 25 juillet, à six heures du soir, malgré une interruption de 30 heures, causée par le manque de tonneaux, soit en soixante-douze heures et demie, le rendement s'est élevé à 783 barils d'une contenance d'environ 100.000 kilogrammes.

La société citée plus haut a obtenu également des résultats meilleurs que par le passé : la production journalière s'élevait, à la fin de juillet 1881, à environ 50 barils ou 9.000 kilogrammes. Le poids spécifique de ce pétrole est de 0,892 et sa température, à la sortie du trou de sonde, de 8° 1/4 Réaumur.

(*Extrait d'un rapport adressé par* M. MATTHEY, *consul de France à Brême, à M le ministre des affaires étrangères, et d'une brochure intitulée :* Das Vorkommen des Petroleums im nordwestlichen Deutschland, insbesondere in der Lüneburger Heide, *par* M. NÖLDEKE).

R. Z.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME VINGTIÈME.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

ERRATUM

Page 162, ligne 14, *au lieu de* ce n'indiquerait, *lire* ce qui indiquerait.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME VINGTIÈME.

Pl. I, *fig.* 1 et 2. — Organisation du service d'hiver et réfrigération artificielle de l'eau minérale à l'établissement thermal de Bourbonne.

Pl. I, *fig.* 3 à 11. — Laverie ancienne au Laurium.

Pl. II, *fig.* 1 à 7. — Appareils de changement de marche à bras pour locomotives, du type ordinaire et avec contrepoids de vapeur.

Pl. II, *fig.* 8 et 9. — Profils de rails.

Pl. III, IV et V, *fig.* 1. — Explosions survenues dans les houillères de Seaham et de Penygraig.

Pl. V, *fig.* 2, VI et VII. — Appareils de contrôle et de surveillance de l'aérage des mines.

Pl. VIII et IX, *fig.* 1 à 11. — Profils de hauts-fourneaux belges.

Pl. IX, *fig.* 12 et 13. — Burette à gaz du docteur Bünte.

Pl. X. *fig.* 1 à 9. — Étude des questions concernant la rupture des câbles de mines.

Pl. X, *fig.* 10. — Appareil Coquillion.

Pl. XI. — Plan des laboratoires de l'École nationale des mines.

IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE

LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1881, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — Atti della SOCIETA TOSCANA DI SCIENZE NATURALI. *Pise.*
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse; partie scientifique: archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH - KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT-BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH.
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Etienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Giessen.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — Anales de la SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos-Ayres.*

26. — Zeitschrift des ARCHITEKTEN UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*
27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*
28. — Berg-und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — Bulletin de la SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE. *Berlin.*
33. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*
34. — OBSERVATOIRE DE PARIS.
35. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston (États-Unis).*
36. — SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE NORMANDIE. *Caen.*
37. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruxelles.*
38. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures. *Londres.*
39. — Mittheilungen aus dem Jahrbuche der KÖNIGLICHEN UNGARISCHEN GEOLOGISCHEN ANSTALT. *Pesth.*
40. — The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.
44. — Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LEOBEN und PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liége.*
47. — Transactions of the AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pensylvanie).*
48. — REALE ACADEMIA DEI LINCEI. *Rome.*
49. — AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *New-York.*
50. — ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.
51. — COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — MIDLAND INSTITUTE OF MINING, CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERS. *Barnsley (Yorkshire).*
54. — L'Électricien, revue générale d'électricité. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1881.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

Bourguet (L.). — Développement en séries des intégrales eulériennes. In-4°, 63 p. (9731)

Brisse (C.). — Cours de géométrie descriptive professé à l'École des beaux-arts. Première partie. In-8°, xvi-142 p. avec 228 fig. 5 fr. (11897)

Dufay. — Considérations sur le mouvement d'un corps solide autour d'un point fixe le corps n'étant soumis à aucune force perturbatrice. Deuxième partie. In-8°, 29 p. (9572)

Javary (A.), chef des travaux graphiques à l'École polytechnique. — Traité de géométrie descriptive. Première partie : la ligne droite, le plan, les polyèdres, répondant à la première partie du programme des connaissances exigées pour l'admission à l'École polytechnique, renfermant en outre les principes de la construction des ombres, la perspective cavalière, les projections cotées. In-8°, viii-263 p. avec 237 fig. (10809)

2° *Physique et Chimie.*

Alexandre (P.), ingénieur des ponts et chaussées. — Note relative à la mesure de l'évaporation de l'eau. In-8°, 12 p. (11189)

Armengaud. — Manuel de l'éclairage électrique : Sources et générateurs d'électricité. In-12, vi-236 p. (9044)

Bleunard. — Recherches sur les matières albuminoïdes. In-4°, 87 p. (11452)

Blondot (R.). — Recherches expérimentales sur la capacité de polarisation voltaïque. In-4°, 47 p. (9724

BOUTMY (E.). — Méthode générale pour la recherche des toxiques. In-12, 24 p. (11455)

BOUTY (E.). — Notes sur les progrès récents de la physique, appendice au Petit traité de physique de M. Jamin. In-8°, 76 p. avec fig. 1f,50. (12193)

CAZIN (A.). — Traité théorique et pratique des piles électriques; Mesure des constantes des piles; Unités électriques; Description et usage des différentes espèces de piles. Annoté et publié par M. Alfred Angot. In-8°, VI-311 p. avec 105 fig. (9737)

DELESSE. — Recherches sur les eaux de la Savoie. In-8°, 15 p. (Extrait des *Annales des mines.*) (10093)

ESBACH (G.). — Analyse complète du lait, rapidité, précision. In-8°, 40 p. avec 3 fig. (11703)

ETARD. — Recherches sur le rôle oxydant de l'acide chlorochromique. In-4°, 75 p. (12244)

GAUMET (F.). — Le Télélogue, appareil de télégraphie optique, description, emploi, applications. In-12, 69 p. avec 7 fig. (8834)

GLÉNARD (A.). — Eaux thermales et minérales de Lancy (Saône-et-Loire), étude chimique. In-8°, 48 p. (8533)

GORDON (J. E. H.). — Traité expérimental d'électricité et de magnétisme. Traduit de l'anglais et annoté par M. J. Raynaud, avec le concours de M. Seligmann-Lui, ingénieur des télégraphes; précédé d'une introduction par M. A. Cornu, de l'Institut. 2 vol. in-8°. T. I, XVI-680 p. avec 27 pl. et 117 fig.; t. II, 656 p. avec 31 pl. et 194 fig. (6838)

GRIMAUX (E.). — Chimie organique élémentaire, leçons professées à la Faculté de médecine. In-18 jésus, VI-423 p. avec fig. 5 fr. (7216)

LARCHEY (J.). — Notice sur les matières colorantes non vénéneuses et les couleurs minérales et organiques prohibées pour colorier les bonbons, liqueurs et substances alimentaires. In-8°, 16 p. (10590)

LAUGIER (E.). — Les nouveaux laboratoires de l'École des hautes études techniques d'Aix-la-Chapelle. In-8°, 21 p. et 5 pl. (12514)

LAUTH (C.). — Les produits chimiques et pharmaceutiques à l'Exposition universelle internationale de 1878 à Paris. In-8°, 370 p. (7055)

MALLARD (E.), ingénieur en chef des mines. — Sur les propriétés optiques des mélanges cristallins des substances isomorphes et sur l'explication de la polarisation rotatoire. In-8°, 60 p. (Extrait des *Annales des mines.*) (11075)

MAREAU (E.). — Intoxication phosphorée, son traitement par l'es-

sence de térébenthine (recherches physiologiques et chimiques). In-8°, 67 p. (8303)

NIAUDET (A). — Machines électriques à courants continus, systèmes Gramme et congénères. In-8°, VIII-203 p. avec 26 fig. (8328)

PELLAT (H.). — Différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact. In-4°, 135 p. (9946)

PILLEUX (L.). — Théorie mécanique de l'électricité. Première partie: Essai d'étude cinématique de quelques phénomènes physiques et établissement de formules des constantes voltaïques selon la théorie mécanique. In-8°, 104 p. 3f,50. (11786)

SENLECQ (C.). — Le Télectroscope, appareil destiné à transmettre à distance les images par l'électricité, basé sur la résistance conductrice variable du sélénium aux différentes gradations de lumière. Avec extrait de journaux scientifiques français et étrangers et annotations traduites de l'anglais par l'auteur. In-8°, 36 p. avec fig. (10629)

SIEMENS (C. W.). — Le Gaz et l'Electricité comme agents de chauffage. Traduit avec l'autorisation de l'auteur par M. Gustave Richard, ingénieur civil des mines. In-18, 36 p. avec 6 fig. (8570)

TISSOT (J.), ingénieur en chef des mines. — Essai de philosophie naturelle. Tome Ier. Les agents naturels. La constitution de la matière. La constitution des êtres organisés. In-8°, 695 p. avec 1 planche. 12 fr.

VOGEL (H.). — La Photographie et la Chimie de la lumière. In-8°, 228 p. avec 95 fig. et un frontispice en photoglyptie. (10007)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

ABEL (F. A.). — Les Agents explosifs appliqués dans l'industrie. Traduit par M. Gustave Richard, ingénieur civil des mines. In-18 jésus, 96 p. (11185)

ARCELIN (A.). — Explication de la carte géologique des deux cantons (nord et sud) de Mâcon. In-8°, 222 p. et 4 tableaux. 10 fr. (11203)

BÉGUYER DE CHANCOURTOIS, inspecteur général des mines. — De l'unification des travaux géologiques en général et particulièrement en ce qui concerne les figurés conventionnels (tracés, notations, signes, couleurs). In-8°, 15 p. (11445)

BOURGUIGNAT (J. R.). — Monographie du genre Emmericia. In-8°, 91 p. (7516)

CAREZ (L.). — Étude des terrains crétacés et tertiaires du nord de l'Espagne. In-8°, 327 p. et 8 pl. (8458)

CHARPY (L.). — Notice sur l'industrie de la marbrerie à Saint-Amour et sur les divers gisements de marbres dans le département du Jura. In-18, 34 p. (12504)

COTTEAU, PERON et GAUTHIER. — Echinides fossiles de l'Algérie : Description des espèces déjà recueillies dans ce pays et considérations sur leur position stratigraphique. 7e fascicule : Etage sénonien. Première partie. In-8°, 118 p. et 8 pl. (6799)

DESHAYES (V.), ingénieur aux aciéries de Terre-Noire. — Classement et emploi des aciers. In-8°, 159 p. et planches. (10988)

DUFOUR (E.). — Etude des fossiles des sables éocènes de la Loire-Inférieure. Première partie. Coquilles bivalves. In-8°, 43 p. (12235)

DU SOUICH, inspecteur général des mines. — Rapport à la commission du grisou sur la réglementation de l'exploitation dans les mines à grisou. In-8°, 99 p. (Extrait des *Annales des mines.*) (11052)

LALLEMAND (C.). — Les Lignites dans le nord de la Bohême. In-8°, 147 p. (Extrait des *Annales des mines.*) (11005)

LEBASTEUR. — Les Produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie à l'Exposition universelle internationale de 1878 à Paris. Section 3. Produits de l'élaboration des métaux usuels. In-8°, 238 p. (9628)

LEVY (M.) et C. VÉLAIN. — Mémoires sur les failles de la région occidentale du Morvan ; les Limites du trias et du lias dans le Morvan ; les Trachytes de la Réunion. In-8°, 12 p. (11330)

NEVEU (F.) et L. HENRY. — Traité pratique du laminage du fer. In-8°, 64 p. avec 22 pl. et album in-folio de 117 pl. (12362)

PORUMBARU R. C. — Etude géologique des environs de Craïova, parcours Bucovatzu-Cretzesci. Première partie. In-4°, 43 p. et 10 pl. (10225)

QUERUEL (A.). — Méthode de calcul applicable aux diagrammes des machines à vapeur, avec tables de densité et de volume de la vapeur sous différentes pressions. Grand in-8°, 64 p. (12383)

ZEILLER (R.), ingénieur des mines. — Les Produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie à l'Exposition universelle de 1878 à Paris. Section 1. Substances minérales et métaux précieux. In-8°, 112 p. (9323)

4° Mécanique. — Exploitation des mines. — Droit des mines.

ARMENGAUD. — Les Scieries mécaniques et les Machines-outils à travailler les bois. Texte. In-4°, IV-408 p. avec fig. (8414)

BUCHETTI. — Les Machines à vapeur actuelles ; texte comprenant

une étude préliminaire des distributions et les tracés graphiques, description et principes de construction des machines les plus récentes, des systèmes Farcot, Meyer, Corliss, Sulzer, Woolf et Compound à réservoir, leurs applications aux machines d'extraction, d'épuisement, de ventilation, etc., avec 171 fig. intercalées, 13 planches gravées et de nombreux tableaux inédits; accompagné d'un album de 62 planches in-fol. gravées. In-4°, 275 p. (7353)

COURTOIS (A. H.). — Etude sur les machines centrifuges, pompes et ventilateurs. In-8°, VIII-172 p. et 6 pl. (7982)

DESROUSSEAUX (E.). — Le Mouvement dans la nature; par E. Desrousseaux, membre collaborateur de la Revue universelle des sciences, des lettres et des industries. In-8°, 340 p. (9782)

FRÉMINVILLE (de). — Conférence sur les machines Compound à l'Exposition universelle de 1878, comparées aux machines Corliss, faite le 8 juillet 1878 à l'Exposition universelle internationale à Paris. In-8°, 23 p. (11278)

LEDIEU (A.), correspondant de l'Institut. — Étude de thermodynamique expérimentale sur les machines à vapeur (influence thermique des parois des cylindres; véritable rôle des chemises de vapeur, de la surchauffe et du fonctionnement au woolf; appréciations diverses de la dépense de vapeur; expression analytique du rendement calorifique). In-8°, 96 p. (7057)

MADAMET (A.), ingénieur de la marine. — Résistance des matériaux. Notions générales, traction, compression, glissement. In-8°, 80 p. avec fig. et pl. (8582)

MARIÉ (G.). — Étude sur la mesure exacte des hautes pressions et sur le frottement des cuirs emboutis des presses hydrauliques; application à la construction des machines à essayer les métaux. In-8°, 55 p. (Extrait des *Annales des mines.*) (6861)

MORANDIÈRE (J.). — Note sur le frein Westinghouse appliqué à la compagnie des chemins de fer de l'Ouest. In-8°, 37 p. et 5 pl. 37 p. et 5 pl. (10605)

MOREL (B.). — De l'administration du patrimoine du mineur, en droit romain; De l'administration de la fortune mobilière des mineurs, en droit français. In-8°, 224 p. (7652)

QUERENET (R). — Étude sur la condition du mineur devant la loi pénale française. In-8°, 171 p. (7276)

RICHARD (G.) et L. BACLÉ. — Manuel du mécanicien conducteur de locomotives. In-8°, XXXII-552 p. avec 368 vign. et atlas de 10 grandes planches. (8978)

SEBERT (H.). — Notice sur de nouveaux appareils balistiques em-

ployés par le service de l'artillerie de la marine. Première partie : Texte et planches. 1 vol. In-8°, 200 p., et album petit in-folio de 17 pl. 8 fr. (8996)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

BEAU DE ROCHAS (A.). — Conférence faite à la Société des études coloniales et maritimes, sur l'établissement d'une communication tubulaire sous-marine à travers le détroit du Pas-de-Calais ; parallèle avec l'établissement d'un tunnel et avec celui d'un pont. In-4°, IV-34 p. avec figures et planche. (6764)

BONTOUX (E.), ingénieur des ponts et chaussées. — Les accidents de chemins de fer. In-8°, 23 p. (Extrait du *Correspondant.*) (12478)

CARQUET (F.). — Le Percement du Petit Saint-Bernard. Étude des avantages incontestables que présente la ligne du Petit Saint-Bernard sur celles du Simplon et du Mont-Blanc considérées comme voies ferrées internationales. In-8°, 63 p. (6473)

CHRÉTIEN (J.). — Chemin de fer électrique des boulevards à Paris. In-4°, 53 p. avec fig. (8765)

FLAMANT (A.), ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Canal du Nord sur Paris ; notice sur l'avant-projet. In-4°, 92 p. et 4 plans. (7566)

FOUSSET. — Chemin de fer d'Arzew à Saïda et prolongements, note sur un avant-projet sommaire du prolongement stratégique reliant Saïda à Géryville et à Tyout. In-8°, 12 p. et 2 pl. (11275)

MARCHAL (L.), ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite. — Mémoire sur la corrosion des côtes de la Manche entre le cap de Barfleur et la limite de la Belgique et la possibilité de les protéger. In-8°, 22 p. et pl. (7635)

SÉDILLE (P.), architecte. — Conférence sur la céramique monumentale, faite le 19 septembre 1878, à l'Exposition universelle internationale à Paris. In-8°, 22 p. (11390)

VAUTHIER (L. L.), ingénieur des ponts et chaussées. — Conférences sur les conditions techniques et économiques d'une organisation rationnelle des chemins de fer, faite le 13 juillet 1878, à l'Exposition universelle internationale à Paris. In-8°, 38 p. (11410)

6° *Sujets divers.*

BARDY (C.). — Sucre de betterave ; Fabrication, raffinage et analyse, conférences de 1881. In-8°, VIII-312 p. (9515)

CHAVÉE-LEROY. — Les Betteraves racineuses et les Pulpes de diffu-

sion, discussion publique soutenue contre des industriels, des publicistes, des chimistes et des anonymes. In-8°, 158 p. et fig. 3 fr. (8464)

CHOISY (A.), ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Le Sahara, souvenir d'une mission à Goléah. In-18 jésus, II-294 p. et carte. (10546)

COLLOT (T.). — Étude sur les engrais commerciaux, leur emploi et leur fabrication : Examen des matières fertilisantes à l'Exposition universelle de 1878 et au concours régional de Lille, 1879. In-8°, 151 p. (8769)

CONSTANT (C.). — Code des établissements industriels classés. Ateliers dangereux, insalubres ou incommodes; Commentaire pratique des décrets du 15 octobre 1810 et ordonnance du 14 janvier 1815, contenant, en outre, la loi du 19 mai 1874 sur le travail des enfants dans les manufactures, etc. In-18 jésus, XII-312 p. 3f,50. (8474)

DARCEL. — Les Tapisseries décoratives du Garde-Meuble (mobilier national), choix des plus beaux motifs; par Ed. Guichard, architecte-décorateur. Texte par Alfred Darcel, administrateur de la manufacture nationale des Gobelins. 10e et dernière livraison. In-fol., 51 p. et 16 pl. L'ouvrage complet. 200 fr. (7378)

Découpage (le) pour tous, méthode très complète à la portée de tous les amateurs, etc., pour découper les bois, les métaux, la nacre, l'ivoire, la pierre, etc. In-8°, 57 p. (10737)

DUPRÉ (J.). — Action des alcalins surtout à doses fortes et massives sur le sang, la bile et les urines. In-4°, 100 p. (8799)

MOUILLARD (L. P.). — L'Empire de l'air, essai ornithologique. In-8°, 288 p. et gr. (12663)

MOUILLEFERT (P.). — Application du sulfocarbonate de potassium au traitement des vignes phylloxérées au moyen du système mécanique breveté et des procédés de MM. P. Mouillefert et Félix Hembert. 8e année. Rapport sur la campagne de 1880-1881. In-8°, 70 p. (12354)

PÉLAGAUD (M.). — La Mer saharienne, mémoire présenté à la Société d'agriculture, histoire naturelle et arts utiles de Lyon dans sa séance du 30 janvier 1880. In-8°, 83 p. (12683)

VIDAL et HERSCHER. — Étuves à désinfection par l'air chaud. 1° Note sur l'étuve à désinfection de l'hôpital Saint-Louis; par M. le docteur Vidal. 2° Rapport sur les appareils à désinfection par l'air chaud au nom d'une commission composée de MM. Marié-Davy, président, O. André, Hudelo, Napias, Rochard, Vallin, Vidal et

Herscher, rapporteur, à la Société de médecine et d'hygiène professionnelle. In-8°, 30 p. avec fig. (10904)

OUVRAGES BELGES.

VAN BENEDEN. Description des ossements fossiles des environs d'Anvers. 2e partie : Cétacés, genres Balænula, Balæna et Balænotus. Bruxelles. In-4°, 83 p., av. 39 pl. 37f,50. (Extr. des *Annales du Mus. d'hist. nat. de Belgique.*)

PIRMEZ. De l'unité des forces de gravitation et d'inertie. Bruxelles. In-8°, 282 p. 4f,40.

VANDEN-BROECK. Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques étudiés dans leurs rapports avec la géologie stratigraphique. Bruxelles. In-4°, 180 p., av. 1 pl. 10 fr.

OUVRAGES ANGLAIS.

Geological Survey of Ireland. Explanatory... Mémoire explicatif pour accompagner les feuilles 39, 40, 51, 52 et 62 de la carte. In-8°. 6f,25.

— *Explanatory...* Mémoire explicatif pour accompagner la feuille 65 de la carte. In-8°. 1f,90.

— *Explanatory...* Mémoire explicatif pour accompagner les feuilles 60 et 61 et partie de la feuille 62 de la carte. In-8°. 6f,60.

— *Explanatory...* Mémorandum explicatif pour accompagner la feuille 57 de la carte. In-8°. 1f,90.

Memoirs of the Geological Survey. The geology... Géologie des environs de Cambridge (explication de la feuille 51 S.-W., et partie de la feuille 51 N.-W.), par W. H. Penning et A. J. Jukes-Browne, avec un appendice paléontologique par R. Etheridge. In-8°. 5f,65.

— *The geology...* Géologie des roches oolithiques et liasiques du nord et de l'ouest de Malton (explication de la feuille 96 S.-E.), par C. Fox-Strangways; les listes de fossiles revues par R. Etheridge. In-8°. 1f,25.

— *Mineral statistics...* Statistique de l'industrie minérale du Royaume-Uni pour 1880, par Robert Hunt. In-8°. 2f,50.

Parliamentary. Mines inspectors... Rapports des inspecteurs des mines pour 1880. 21f,25.

—— *Seaham colliery*... Explosion de la houillère de Seaham; rapport. 5f,65.

—— —— *Experiments*... Expériences sur les poussières de Seaham; rapport. 0f,35.

Railway rates... Tarifs des chemins de fer. Rapport du Comité. 0,f45.

—— *Railways. Returns*.. Chemins de fer. Rapports pour 1880. 1f40.

—— —— *Accidents*... Accidents de chemins de fer. Rapports trimestriels. Mars 1881. 4f,40.

—— *Whitfield colliery*... Explosion de la houillère de Whitfield; rapport. 1f,05.

—— *East India*... Chemins de fer des Indes orientales. Rapport pour 1879-80. 1f50.

—— *Railways. Wind pressure*... Pression du vent sur les bâtiments; rapport. 9f,40.

—— —— *Continuous*... Freins continus; rapport. 1f,20.

—— —— *Maximum*... Charges maxima. 2f,00.

—— *Explosion*... Explosion sur la Clyde; rapport. 1f,05.

—— *Explosion*... Explosion à Gatebeck; rapport. 0f,85.

—— *Mines*... Accidents de mines; rapport de la commission et dépositions. 7f,10.

—— *Railway*... Accidents de chemins de fer. Comptes rendus et rapports jusqu'au 30 juin 1881.

—— *Railway rates*... Tarifs des chemins de fer. Rapports et dépositions. 17f,25.

Lee. *Note book*... Livre de notes d'un géologue amateur. In-8°. 26f,25.

Ball. *The diamonds*... Les diamants, le charbon et l'or dans l'Inde; gisement et distribution. In-12, 142 p. 6f,25.

Colyer. *Hydraulic, steam*... Machines à élever et à comprimer, mues par l'eau, la vapeur ou la main de l'homme. In-8°. 22f,50.

Crofton. *Lectures*... Leçons sur les éléments de la mécanique appliquée, comprenant : 1° Stabilité — et 2° Résistance des matériaux. In-8°, 104 p. 9f,40.

—— And Kensington. *Tracts on mechanics*. Traité de mécanique. 2e édition. In-8°, 120 p. 9f,40.

Bird. *A short sketch*... Esquisse de la géologie du Yorkshire. In-8°, 196 p. 6f,25.

Jennings. *My visit*... Ma visite aux exploitations d'or du Wynand sud-est. In-8°, 88 p. 6f,25.

Johnston and Cameron. *Elements...* Éléments de chimie et de géologie agricoles. 12e édition. In-12, 518 p.

Wylie. *A treatise...* Traité sur la fonte du fer. In-8°, 150 p. 4f,40.

Davies. *A treatise...* Traité des minéraux métallifères et de leur exploitation. 2e édition. In-8°, 436 p. 15f,65.

Tarn. *Practical geometry...* Géométrie pratique pour l'architecte, l'ingénieur, etc. 2e édition. In-8°, 182 p. 11f,25.

Burgh. *The indicator diagram...* Les diagrammes de l'indicateur considérés pratiquement. 5e édition. In-8°, 188 p. 6f,90.

—— *The slide-valve...* Le tiroir de distribution considéré pratiquement. 9e édition. In-8°, 152 p. 6f,25.

—— *Modern marine...* Machines marines modernes. In-4°. 56f,25.

—— *Modern...* Machines marines modernes; supplément au précédent. In-4°. 22f,50.

—— *A practical...* Traité pratique des chaudières à vapeur. In-4°, 364 p. 91f,90.

Layson. *Robert Stephenson...* Robert Stephenson et le développement des chemins de fer. In-16, 128 p. 0f,65.

Maxwell. *An elementary treatise...* Traité élémentaire d'électricité. In-8°, 200 p. 9f,40.

—— *A treatise...* Traité d'électricité et de magnétisme. 2e édition. 2 volumes. In-8°, 940 p. 39f,40.

Murray and Howley. *Geological survey...* Exploration géologique du Newfoundland. In-8°, 530 p. 18f,75.

Thomson. *An introduction...* Introduction à l'étude des déterminants. In-8°, 100 p. 6f,25.

Rance. *The water supply...* Le régime des eaux de l'Angleterre et du pays de Galles. In-8°, 610 p. 30 fr.

Burnside and Panton. *The theory...* Théorie des équations. In-8°. 11f,15.

Steel. *The exact...* Quadrature numérique exacte du cercle et commensurabilité de la diagonale et du côté du carré. In-8°, 76 p. 2f,50.

Gardiner. *Sound...* Son, lumière et chaleur. 13e édition. In-12. 1f,90.

Giberne. *The world's...* Les fondations du globe; géologie élémentaire. In-8°, 324 p. 6f,25.

Stanley. *Experimental...* Recherches expérimentales sur les propriétés et le mouvement des fluides. In-8°, 562 p. 18f,75.

Thompson. *Elementary lessons...* Leçons élémentaires sur l'électricité et le magnétisme. In-8°, 450 p. 5f,65.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

SHALER and DAVIS. *Glaciers*. Les glaciers. Boston. In-fol., 196 p. 62f,50.

MARBURY. *A theory*... Théorie de la gravitation, de la chaleur et de l'électricité. Baltimore. In-12, IV-104 p.

NEWTON and JENNEY. *Report*... Rapport sur la géologie et les ressources des Black Hills du Dakota. Washington. In-4°, XV-566 p., avec 18 planches et un atlas in-folio.

HUNT. *Coal and iron*... Le charbon et le fer dans l'Ohio méridional: richesses minérales de Hocking Valley. Boston. In-8°, XII-152 p., avec une carte. 5 fr.

NEWCOMB. *Elements*... Éléments de géométrie. New-York. In-8°, X-399 p.

POOR. *Manual*... Manuel des chemins de fer des États-Unis pour 1881. New-York. In-8°, 1.300 p. 35 fr.

OUVRAGES SUISSES.

FLIEGNER. *Die Umsteuerungen*... Les distributions des locomotives par une méthode purement graphique. Zurich. In-8°, VIII-142 p., avec 7 pl. 5f,50.

ROTHPLETZ. *Das Diluvium*... Le diluvium parisien et sa place dans le pleistocène. Bâle. In-4°, 132 p. 8 fr. (Extr. des *Denkschr. d. schweiz. Gesellsch. für d. gesammt. Naturwissenschaften.*)

TARAMELLI. *Il canton Ticino*... Le canton du Tessin méridional et les pays limitrophes; explication de la feuille XXIV de la carte de Dufour coloriée géologiquement par *Spreafico*, *Negri* et *Stoppani*. Berne. Appendice. In-4°, 42 p. (*Matériaux pour la carte géologique de la Suisse*, vol. XVII.)

OUVRAGES ALLEMANDS.

COHEN. *Sammlung*... Collection de photographies microscopiques montrant la structure des minéraux et des roches, exécutées par *J. Grimm*, à Offenburg. Stuttgart. 3e et 4e livraisons. In-4°, 16 pl. 40 fr.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours

de Baumann, Bunsen, Classen, etc. Brunswick. In-8°. Livraisons 37-39. (T. III, p. 961-1248.) Chaque livraison 3 fr.

HARNACK. *Die Elemente...* Éléments de calcul différentiel et intégral. Leipzig. In-8°, VIII-409 p. 9f,50.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker, etc.; continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nuremberg. In-4°. Livraisons 302-307; 144 p., 28 pl. Chaque livraison 11f,25.

SCHMITZ-DUMONT. *Die Einheit...* L'unité des forces naturelles et l'interprétation de leurs formules communes. Berlin. In-8°, IV-168 p., av. 5 pl. 5 fr.

THIELE. Sur la compensation de quelques erreurs quasi-systématiques par la méthode des moindres carrés. Copenhague. In-8°, 30 p. 7f,50.

V. EHRENWERTH. *Studien...* Études sur le procédé Thomas-Gilchrist. Vienne. In-8°, VI-226 p., av. 2 pl. 6f,25. (Extr. de l'*Œsterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen.*)

JAPING. *Die Darstellung...* Le fer et les objets en fer. Vienne. In-8°, IV-246 p. 4f,10.

UHLAND. *Handbuch...* Manuel du constructeur de machines. Leipzig. In-4°. Livraisons 17-20. Chaque livraison 3f,75.

ARENDT. *Technik...* Technique de la chimie expérimentale. Leipzig. In-8°. T. I, 3e livraison, p. 209-318. 3f,75.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *K. A. Zittel*. Cassel. In-4°. T. XXVIII (3e série, t. IV). Livr. 1 et 2, p. 1-109, av. 13 pl. 50 fr.

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde...* Paléontologie de l'Allemagne. Leipzig. 1re partie, t. VI; fasc. 7. In-8°, p. x et 913-1093, av. un atlas de 6 pl. 22f,50.

SCHEFFLER. *Die Naturgesetze...* Les lois de la nature et leur liaison avec les principes des sciences abstraites. 4e partie. Leipzig. In-8°, VI-499 p. 11f,25.

UNDEUTSCH. *Einführung...* Introduction à la mécanique. Freiberg. In-8°, XV-447 p. 15 fr.

FOCKE. *Die Quarzporphyre...* Les porphyres quartzifère du centre du Thüringerwald. Iéna. In-8°, 59 p. 1f,50.

HOERNES. *Die Erdbeben-Theorie...* Examen critique de la théorie des tremblements de terre de Rudolf Falb et de ses fondements scientifiques. Vienne. In-8°, VII-134 p. 3 fr.

KLEIN. *Theorie...* Théorie des figures élémentaires trilinéaires-symétriques. Marbourg. In-8°, IV-78 p., avec 4 pl. 2f,25.

KOENIGS. *Studien über...* Études sur les alcaloïdes. Munich. In-8°, 119 p. 2f,50.

LAUBENHEIMER. *Grundzüze...* Principes de chimie organique. Heidelberg. In-8°. Livraisons 1 et 2; 400 p. 12f,50.

SCHLOSSER. *Die Fauna...* La faune du calcaire à dicérates de Kehlheim. 1re partie : Vertébrés, crustacés, céphalopodes et gastropodes. In-4°, 65 p. avec 6 pl. 31f,25 (Extr. des *Palæontographica.*)

STUR. *Zur Morphologie...* Sur la morphologie des Calamariées. Vienne. In-8°, 64 p., avec 1 pl. 3 fr. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

ZETSCHE. *Handbuch...* Manuel de télégraphie électrique. Berlin. In-8°. T. IV, 5e livraison, p. XV et 657-864. 7f,75.

BEILSTEIN. *Handbuch...* Manuel de chimie organique. Leipzig. In-8°. Livraisons 4-6, p. 481-984. Chaque livraison 3f,75.

SIMONY. *Ueber jene Gebilde...* Sur les figures que l'on obtient en réunissant deux à deux les extrémités d'une surface cruciforme et en y traçant certaines sections fermées. Vienne. In-8°, 21 p., avec 8 pl. 2f,50. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenchaften.*)

DÜRRE. *Die Anlage...* Etablissement et exploitation des usines à fer. Leipzig. In-4°. T. I, livr. 7 et 8, p. 145-192, avec 12 pl. Chaque livraison 7f,50.

MEISSNER. *Die Hydraulik...* L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna, In-8°. T. II. Turbines et roues hydrauliques. 11e fascicule, p. 553-600, avec 6 pl. 3f,75.

FRITSCH. *Fauna der Gaskohle...* Faune des charbons à gaz et des calcaires de la formation permienne de Bohême. Prague. T. I., fasc. 3. In-4°, p. 127-158, av. 12 pl. 40 fr.

NEUMANN. *Vorlesungen...* Leçons sur la théorie du magnétisme et particulièrement sur la théorie de l'induction magnétique. Leipzig. In-8°, VIII-116 p. 4f,50.

GRASHOF. *Theoretische...* Cours théorique de machines. Leipzig. In-8°. T. II, 3e livraison, p. 385-576. 6 fr.

HOSTMANN. *Bau und Betrieb...* Construction et exploitation des chemins de fer à voie étroite et leur importance économique pour l'empire allemand. Wiesbaden. In-8°, XII-96 p. avec 7 pl. 5 fr.

DONADT. *Das mathematische...* Le problème mathématique de l'espace et les axiomes géométriques. Leipzig. In-8°, 68 p. 2 fr.

v. Escherich. *Einleitung...* Introduction à la géométrie analytique de l'espace. Leipzig. In-8°, VIII-282 p. 6f,50.

Sandberger. *Untersuchungen...* Recherches sur les filons métallifères. Wiesbaden. In-8°. Fascicule 1, IV-159 p., avec 2 pl. 4f,50.

Toula. *Grundlinien...* Lignes fondamentales de la géologie du Balkan occidental. Vienne. In-4°, 56 p., avec 4 pl. et une carte géologique. 7f,50. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Weiss. *Aus der Flora...* Plantes houillères. Berlin. In-4°, 19 p. et 20 pl. 3f,75.

Woldrich. *Diluviale Fauna...* Faune diluvienne de Zuzlawitz près Winterberg dans le Böhmerwald. Vienne. In-8°, 2e partie, 93 p., 4 pl. 3f,15. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*)

Zmurko. *Beitrag...* Contribution à la théorie de la résolution des équations. Vienne. In-4°, 64 p. 3f,75. (Extr. des *Denkschr. d. Akad. d. Wissenschaften.*)

Heinzerling. *Die eisernen...* Les ponts suspendus en fer. Aix-la-Chapelle. In-fol. IV-53 p., avec 7 pl. 17f,50. (Extr. de l'ouvrage *Die Brücken der Gegenwart.*)

—— *Die hölzernen Brücken...* Les ponts en bois et les cintres. Aix-la-Chapelle. In-fol., VI-40 p., avec 6 pl. 12f,50. (Extrait du même ouvrage.)

—— *Die steinernen Brücken...* Les ponts en pierre. Aix-la-Chapelle. In-fol. Fascicules 1 et 2, VI-42 p., avec 6 pl.; VI-38 p., avec 6 pl. Chaque livraison 12f,50. (Extrait du même ouvrage.)

v. Kerpely. *Die Anlage...* Etablissement et conduite des usines à fer. Leipzig. In-8°. 5e livraison, p. 529-624, avec 14 pl. 31f,25.

Storck. *Die Verhütung...* Moyens d'empêcher les incrustations des chaudières. Leipzig. In-8°, VI-102 p. 2f,50.

Rühlmann. *Vorträge...* Leçons sur l'histoire de l'étude théorique des machines. Brunswick. In-8°. 1re partie, 192 p. 6f,25.

OUVRAGES RUSSES.

Stebnickij. Observations sur les oscillations des pendules entreprises à Tiflis. Saint-Pétersbourg. In-8°, 103 p. 2f,50.

Brennecke. *Ueber die Methode...* Sur la méthode de fondation pneumatique. Saint-Pétersbourg. In-8°, 46 p., avec 1 pl. 4f,40.

Mitte. Sur les machines thermiques à gaz et à naphte. Saint-Pétersbourg. In-8°, 131 p. 6f,25.

SCHTSCHUKIN. Cinématique; leçons professées à l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg. In-8°, 248 p., 12 pl. 12f,50.

OUVRAGES ITALIENS.

ARTOLUCCI. *Memoria...* Mémoire sur les coordonnées linéaires et sur leur application à la solution de quelques problèmes. Florence. In-8°, 48 p. avec planches.

BOMBICCI. *Nuovi studi...* Nouvelles études sur la polygenèse des minéraux. 2e partie. Bologne. In-4°, 26 p. (Extr. des *Mem. dell' Accad. delle scienze dell' Istit. di Bologna.*)

CAPELLINI. *Rapporto...* Rapport sur la mine de lignite située entre Santa Croce et Morgnano près Spolète. In-8°, p. 7.

GANDINI. *Alcune...* Quelques mensurations électriques. Lodi. In-8°, 23 p.

LANTELME. *Studio...* Étude sur l'ellipsoïde terrestre. Turin. In-8°, 52 p.

OLIVETTI e FADDA. *La locomotiva...* La locomotive; sa construction et art de la conduire. 2e partie. Turin. In-16, 544 p., 5 pl. 4 fr. (Extr. de la *Biblioteca scient. popolare.*)

PORTIS. *Sui terreni...* Sur les terrains stratifiés d'Argentera; mémoire paléontologique et géologique. Turin. In-4°, 77 p., 2 pl. (Extr. des *Mem. della R. Accad. delle scienze di Torino.*)

TANO. *Sopra due serie...* Sur deux séries (hypergéométriques) plus générales des séries de Heine et de Gauss; note. Palerme. In-4°, 4 p.

—— *Intorno...* Note sur les équations binômes. Palerme. In-4°, 18 p.

CORSA e MATTIROLO. *Sopra alcune roccie...* Sur quelques roches de la période silurienne dans le territoire d'Iglesias. Turin. In-8°, 15 p.

DEL LAGO. *Artificiale fusione...* Fusion artificielle du basalte; renseignements scientifiques. Valdagno. In-8, XIII p.

FUCHS. *Vulcani...* Volcans et tremblements de terre. Milan. In-8°, XII-362 p. 6 fr. (Extr. de la *Biblioteca scient. internazionale.*)

LUCCHETTI. *Il gruppo...* Le groupe naturel en minéralogie et le dimorphisme d'accord avec la loi de Mitscherlich. Bologne. In-4°, 12 p., avec pl. (Extr. des *Mem. dell. Accad. della scienze dell' Istit. di Bologna.*)

Lucchetti. *Un anfibolo...* Une amphibole sans magnésie. Bologne. In-4°, 7 p., avec pl. (Extr. du même recueil.)

Mazzetti. *Montese, i suoi...* Montese, ses terrains géologiques, ses eaux minérales et ses produits. Modène. In-8°, 18 p. (Extr. de l'*Annuario della soc. dei naturalisti di Modena.*)

Coppi. *Paleontologia...* Paléontologie modénaise, ou guide du paléontologiste, avec de nouvelles espèces. Modène. In-8°. 142 p. 1 fr.

Favaro. *Le matematiche...* Les mathématiques à l'École de Padoue, depuis le commencement du XIVe siècle jusqu'à la fin du XVIe. Padoue. In-4°, 95 p.

Gazola. *Il monte Bianco...* Le Mont Blanc et le Simplon; études comparatives. Turin. In-8°, 32 p., 2 pl.

Médail. Histoire du percement des Alpes; théorie de l'air comprimé; historique de tous les essais faits à ce jour; description sommaire de toutes les machines à perforer et de tous les appareils à comprimer l'air. Turin. In-8°, XVI-184 p., avec portrait.

Murani. *Principii...* Principes élémentaires de travail mécanique et de thermodynamique. Chieti. In-8°, 96 p.

Paci. *Sul modo...* Mémoire sur le mode de rotation des liquides. Parme. In-4°, 24 p., avec planches.

Bomby. *Nuovo metodo...* Nouvelle méthode de séparation des minerais mélangés en les éléments qui les composent, de manière à produire des minerais simples, et à rendre facile le traitement métallurgique. Cagliari. In-16, 18 p.

Salemi-Pace. *Determinazione...* Détermination expérimentale des constantes spécifiques des pierres de construction de la Sicile. Palerme. In-4°, 44 p. 1 fr.

Scapin. *Opere...* Travaux hydrauliques de 2e catégorie dans la province de Padoue. Padoue. In-8°, 37 p.

Pagliani. *Sui calori...* Sur les chaleurs spécifiques des dissolutions salines; étude expérimentale. Turin. In-8°, 2 fascicules de 23 et 24 p. (Extr. des *Atti della R. Accad. d. scienze di Torino.*)

Agazzi. *Delle ferrovie...* Des chemins de fer à voie étroite et en particulier de celui qui est projeté pour la Valle Seriana. Rome. In-8°, 58 p. 2 fr.

Beltrami. *Sulla teoria...* Sur la théorie des fonctions potentielles symétriques. Bologne. In-4°, 47 p. (Extr. des *Mem. dell' Accad. delle scienze dell' Istit. di Bologna.*)

Boschi. *Alcune proprieta...* Quelques propriétés des formes géométriques fondamentales collinéaires de seconde et de troisième

espèce ayant des éléments communs. Bologne. In-4°, 9 p. (Extr. du même recueil.)

CAPELLINI. *Avanzi...* Restes de squalodontes dans la molasse miocène du Bolonais. Bologne. In-4°, 9 p. av. pl.

Congrès géologique international. 2° session. Bologne. 1881. Rapports des commissions internationales. Bologne. In-8°, 144 p.

FOSSATI. *Mezzi.* Moyens de prévenir les accidents de chemins d fer ; réponse critique aux rapports officiels. Monza. In-8°, 95 p.

GELMI. *Del servizio...* Du service économique sur les chemins de fer de la Haute-Italie. Vérone. In-8°, 64 p.

MAURI. *Nuovo studio...* Nouvelle étude comparative sur les piles électriques de nouveaux systèmes. Milan. In-16, XII-146 p., 2 pl. 3 fr.

MELI. *Sopra una nuova...* Sur une nouvelle forme de Pecten des dépôts pliocènes de Civita-Vecchia. Rome. In-4°, 7 p. avec une carte.

SOMMARIVA. *Miniera...* Mine et établissement métallurgique de Vall' Imperina. Bellune. In-8°, 12 p.

BOURGUET. Sur la détermination des maxima et minima de la fonction Γ (x). Turin. In-8°, 17 p. (Extr. des *Atti della R. Accad. delle scienze di Torino.*)

Carta geologica... Carte géologique générale d'Italie à l'échelle de 1 à 1.111.111, en deux feuilles. Rome. 10 fr.

DENZA. *Amplitudine...* Amplitude de l'oscillation diurne de la déclinaison magnétique obtenue à l'observatoire de Moncalieri dans les années 1879 et 1880. Turin. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti dell' Accad. della scienza di Torino.*)

GIORDANO. *Cenni...* Renseignements sur l'organisation et les travaux des instituts géologiques existant dans divers pays. Rome. In-8°, 66 p.

BARETTI. Aperçu géologique sur la chaîne du Mont Blanc en rapport avec le trajet probable d'un tunnel pour une nouvelle ligne de chemin de fer. Turin. In-8°, 38 p.

GAUTERO. *Manuale...* Manuel du machiniste et du chauffeur. Milan. In-24, 162 p. 2 fr.

Istruzione sull' impiego... Instruction sur l'emploi de la dynamite dans les mines militaires et sur leur allumage électrique. Rome. In-32, VIII-141 p., avec planches.

INCORONATO. *Sopra uno scheletro...* Sur un squelette humain de l'âge de la pierre dans la province de Rome. Rome. In-8°, 7 p., 1 pl. (Extr. des *Atti dell' Accad. dei Lincei.*)

MONTEZEMOLO. *Delle ferrovie...* Des chemins de fer à voie étroite.

Rome. In-16, 35 p. (Extr. du *Giornale d. lavori pubbl. e d. strade ferrate.*)

PASQUALINI. *Guida alla analisi...* Guide pour l'analyse chimique qualitative des corps inorganiques. Forli. In-8°, fascic. 1 et 2; 30 et 29 p.

SCARABELLI-GOMMI-FLAMINI. *Sugli scavi...* Sur les fouilles exécutees dans la caverne de Frasassi (province d'Ancône). Rome. In-4°, 31 p., 2 pl. (Extr. des *Atti della R. Accad. dei Lincei.*)

Strade ferrate... Chemins de fer de la Haute-Italie. Service de l'entretien et des travaux. Description et usage d'un micromètre multiplicateur. Milan. In-4°, 15 p., 1 pl.

BARETTI. *Resti fossili...* Restes fossiles de mastodonte dans le territoire d'Asti. Turin. In-8°, 5 p. (Extr. des *Atti della R. Accad. delle scienze di Torino.*)

CAPPA. *Sopra il metodo...* Sur la méthode volumétrique de Valhard pour la détermination du chlore. Turin. In-8°, 9 p. (Extr. du même recueil.)

Osservazioni... Observations des trois principales administrations de chemins de fer d'Italie sur le mémoire publié par les soins du ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce, relativement au projet de la convention internationale de Berne. Milan. In-4°, 14 p.

ROSENBUSCH. *Sulla presenza...* Sur la présence du zircon dans les roches. Turin. In-8°, 6 p.

CULTRERA. *Mineralogia biblica...* Minéralogie biblique, ou explication des corps inorganiques mentionnés dans l'Écriture sainte. Palerme. In-8°, 254 p. avec 8 pl. 4 fr.

DE GREGORIO. *Fauna...* Faune de San Giovanni Ilarione (parisien). 1re partie : céphalopodes et gastropodes. Palerme. In-fol. Fascicule 1, XXVIII-110 p., 9 pl.

GABELLI. *Conferenze...* Conférences relatives aux chemins de fer. Padoue. In-16, 354 p. 5 fr.

MOCENIGO. *Impiego...* Emploi de la gravité comme force de traction et de transport. Bassano. In-8°, 12 p.

TARAMELLI. *Spiegazione...* Explication de la carte géologique du Frioul. Pavie. In-16, 184 p. 7 fr.

ACCOMAZZI. *Nozioni elementari...* Notions élémentaires sur la locomotive. 2e édition. Turin. In-16, 148 p., 5 pl. 2f,50.

CAROTTI. *I trasporti...* Les transports internationaux par chemins de fer ; rapport sur les conférences tenues à Florence les 6 mars et 10 avril 1881 au sujet de la convention internationale projetée

à Berne sur les transports des marchandises par chemins de fer. Florence. In-8°, 65 p.

Ministero dei lavori... Ministère des travaux publics. Direction générale des chemins de fer. Rapport statistique sur la construction et l'exploitation des chemins de fer italiens en 1880. Rome. In-4°, 436 p. et 1 carte.

SILVESTRI. *Bibliografia generale*... Bibliographie générale touchant la vulcanologie, la minéralogie, la géologie, la paléontologie et la paléoethnologie de la province de Catane et des îles volcaniques adjacentes à la Sicile. Modène. In-8°, VII-64 p. 3 fr.

Bibliographie géologique et paléontologique de l'Italie, par les soins du comité d'organisation du 2e congrès géologique international à Bologne. Bologne. 1881. In-8°, 630 p.

BORELLA. *Sulla fabbricazione*... Sur la fabrication économique du persulfate de chaux. Milan. In-8°, 7 p.

CAVALLI. *Elementi di cinematica*... Eléments de cinématique théorique. Livourne. In-8°. T. I, X-128 p. 5 fr.

COSSA. *Ricerche chimiche*... Recherches chimiques et microscopiques sur les roches et les minéraux d'Italie (1875-1880). Turin. In-4°, VII-302 p., av. 12 planches chromolithographiques. 30 fr.

DAVOGLIO MAGGI. *Memoria sul moto*... Mémoire sur le mouvement de l'eau dans les turbines. Bergame. In-8°, 23 p., 3 pl.

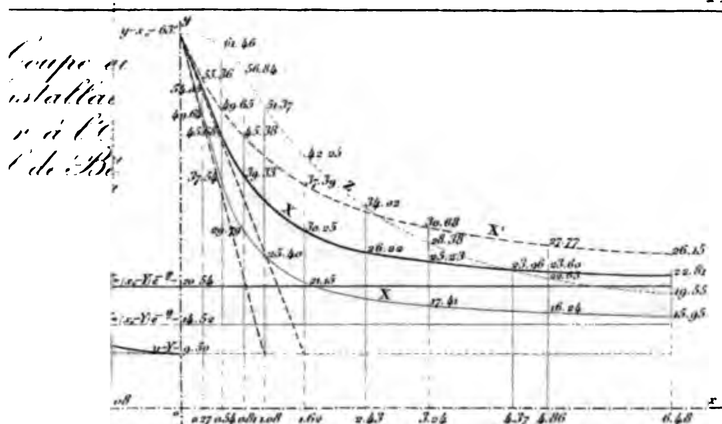
DE ROSSI. *La meteorologia endogena*. La minéralogie interne. Milan. In-8°. T. II, XII-437 p., avec 5 pl. 7 f. (Extr. de la *Biblioteca scient. internazionale*.)

GERVIS. *I tesori*... Les richesses souterraines de l'Italie. 3e partie : Région de la Sardaigne et de la Sicile. Turin. In-8°, XXII-539 p. 15 fr.

LAWLEY. *Studii*... Études comparatives des poissons fossiles et des poissons vivants des genres Charcaron, Oxyrrhina et Galeocerdo. Pise. In-4°, 150 p. 25 fr.

ORSONI. *Dei primi abitatori*... Des premiers habitants de la Sardaigne. 1re partie : Observations géologiques et archéologiques. Bologne. In-8°, 61 p. 1 fr.

RIGHI. *Le ombre*... Les ombres électriques. Bologne. In-4°, 15 p. (Extr. des *Mem. dell' Accad. delle scienze dell' Istit. di Bologna*.)



Echelles

pour les abscisses : 10 mm pour un litre d'eau douce

pour les ordonnées : 0 m/m 80 par degré centigrade

ancienne au Laurium.

Fig. 9.



Fig. 4. *Coupe suivant* AB

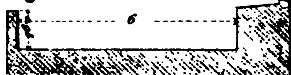


Fig. 5. *Coupe suiv.t* CD



Fig. 6. *Coupe suiv.t* EF



Fig. 7. *Coupe suiv.t* GH

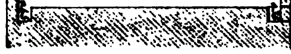


Fig. 8. *Coupe suiv.t* IJ

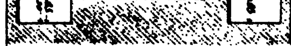


Fig. 10.

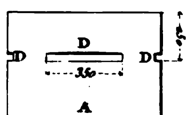
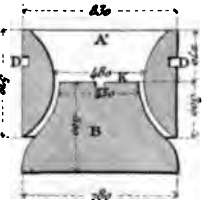


Fig. 11.



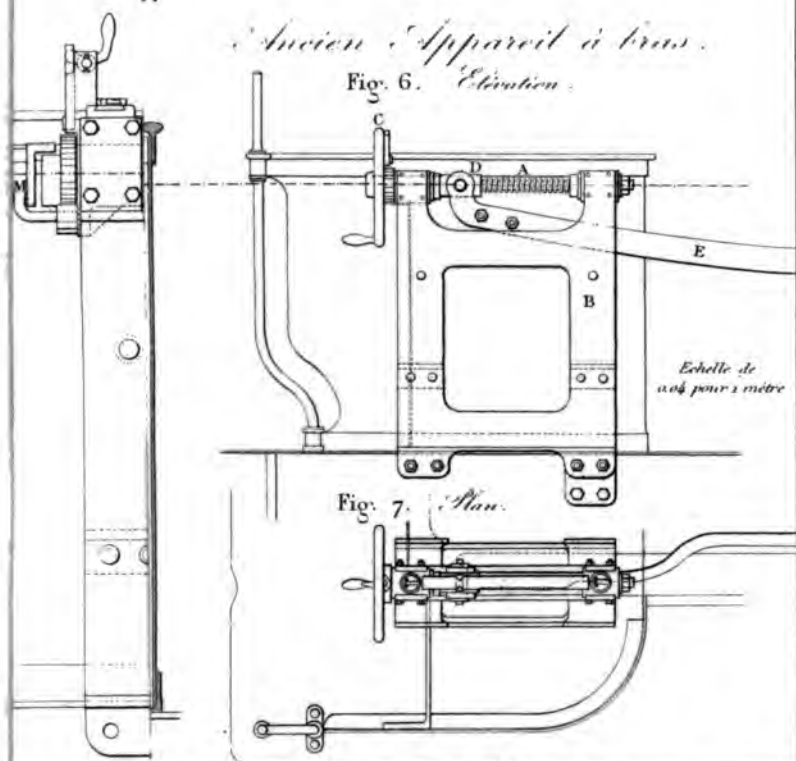
Macquet del. et sc.

...pareil *Machines Locomotives.*

Ancien Appareil à bras.

Fig. 6. *Élévation.*

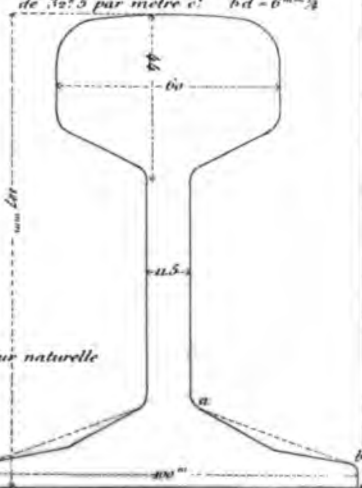
Fig. 7. *Plan.*



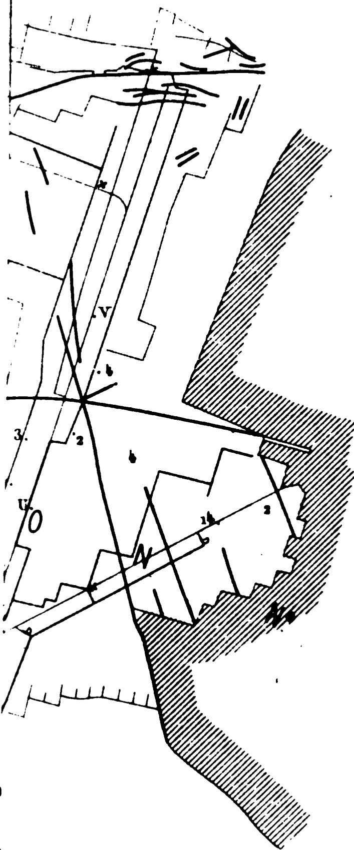
...il Américain.

...lbs par yard
...5 par mètre c.
ef = 8mm

Fig. 8. *Rail* P.L.M.A.
de 32k.5 par mètre c. bd = 6mm½



Macquet del et sc.



LÉGEND

es principa
- id ——
ments d'ai
principale
et déran
travaux
majuscul
t été rec
r désigné
rt du p
r indiqu
ées en

…LE DES TRAVAUX A L'ÉTAGE …5ᴹ DE LA HOUILLÈRE DE SEAHAM

Echelle de $\frac{1}{18.000}$

. Série

Gravé par R. Hausermann et Simon

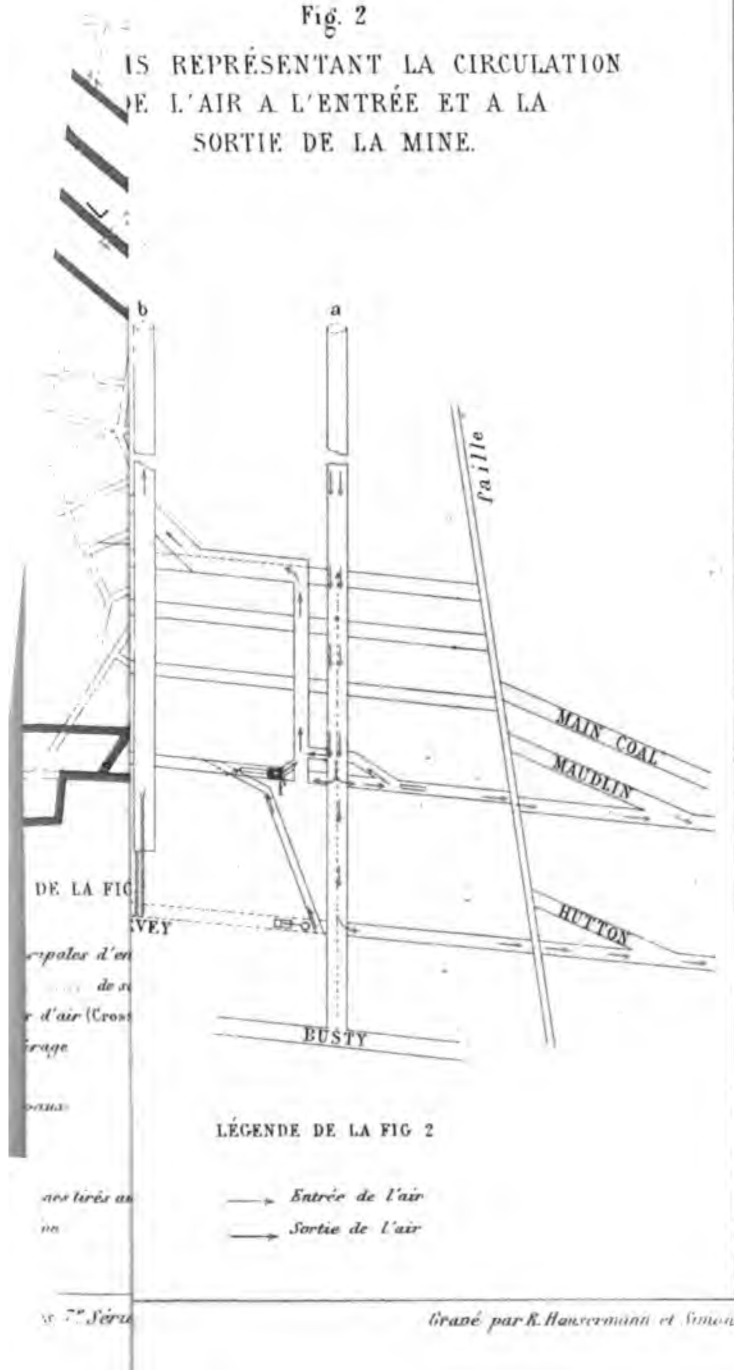
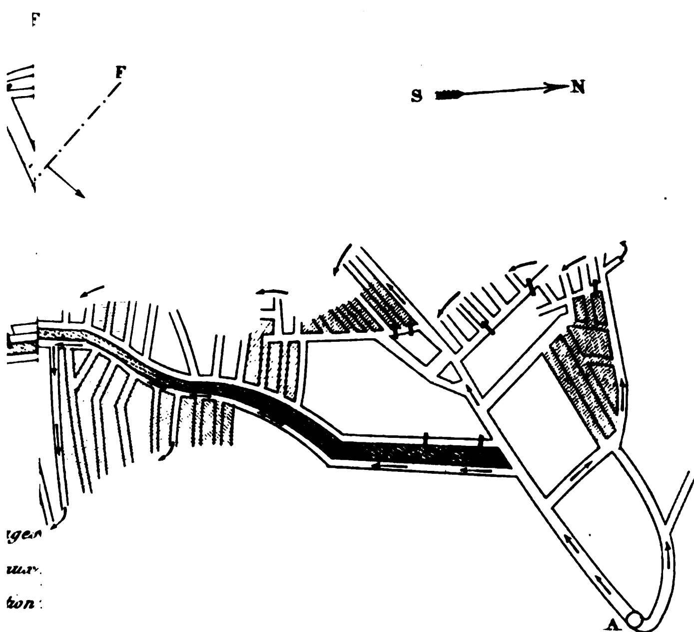
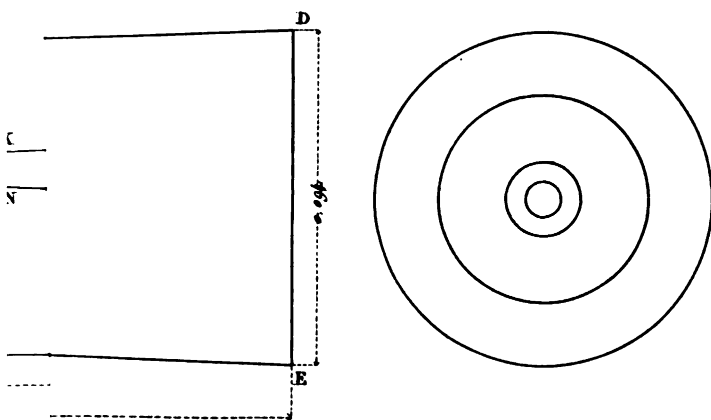
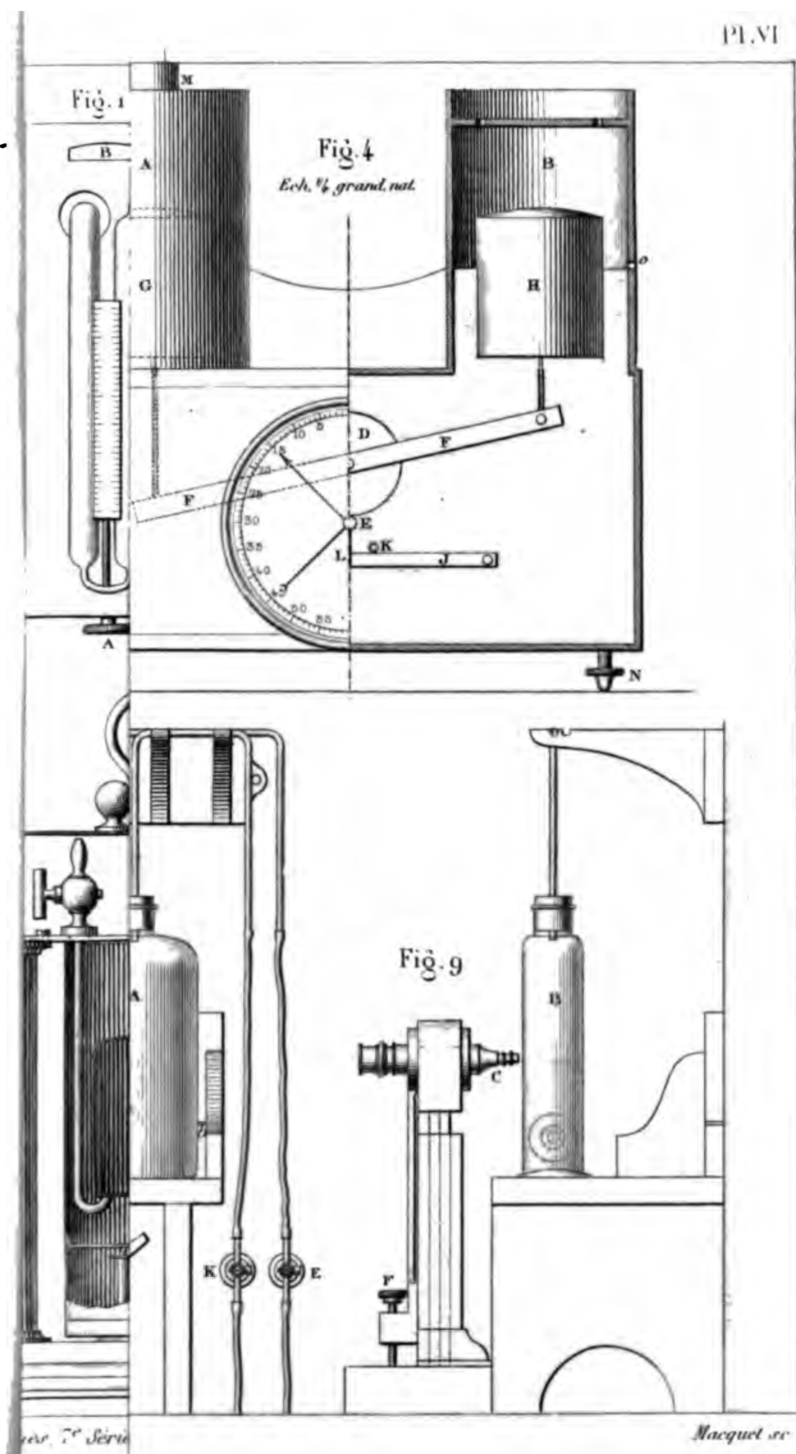


Fig. 2
IS REPRÉSENTANT LA CIRCULATION
E L'AIR A L'ENTRÉE ET A LA
SORTIE DE LA MINE.
b
a
faille
MAIN COAL
MAUDLIN
HUTTON
BUSTY
VEY
DE LA FIG
LÉGENDE DE LA FIG 2
Entrée de l'air
Sortie de l'air
Gravé par R. Hausermann et





Macquet del. et sc.



Macquet sc.

10 Ech. 1/3 gr. nat

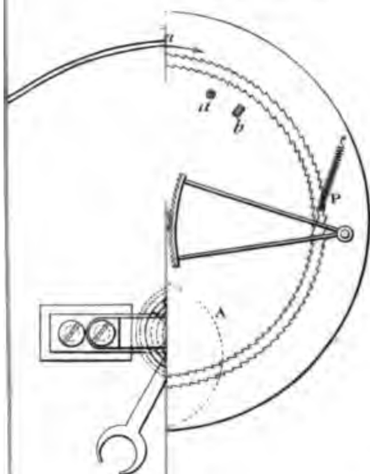
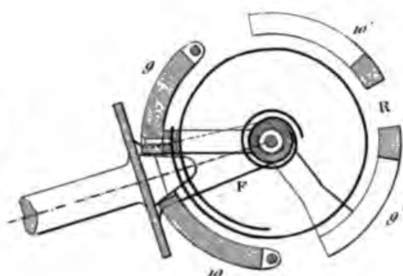
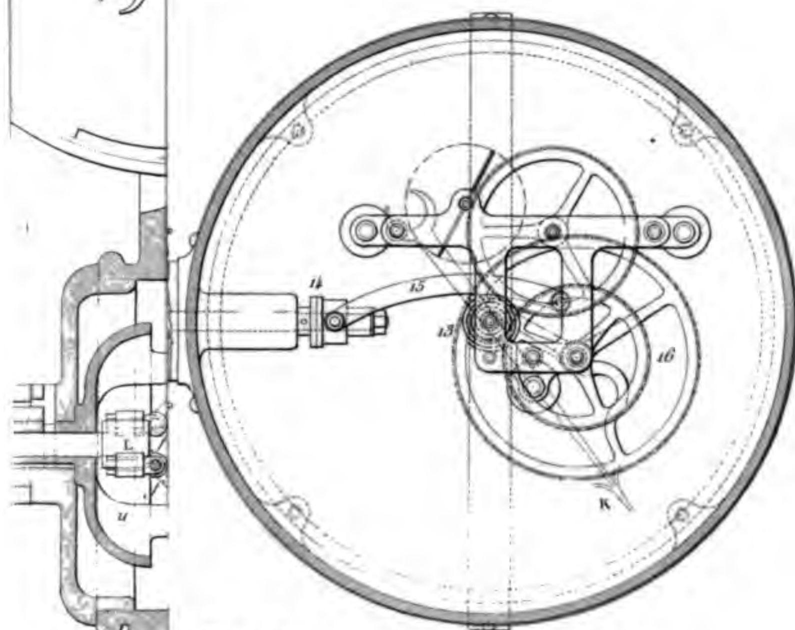


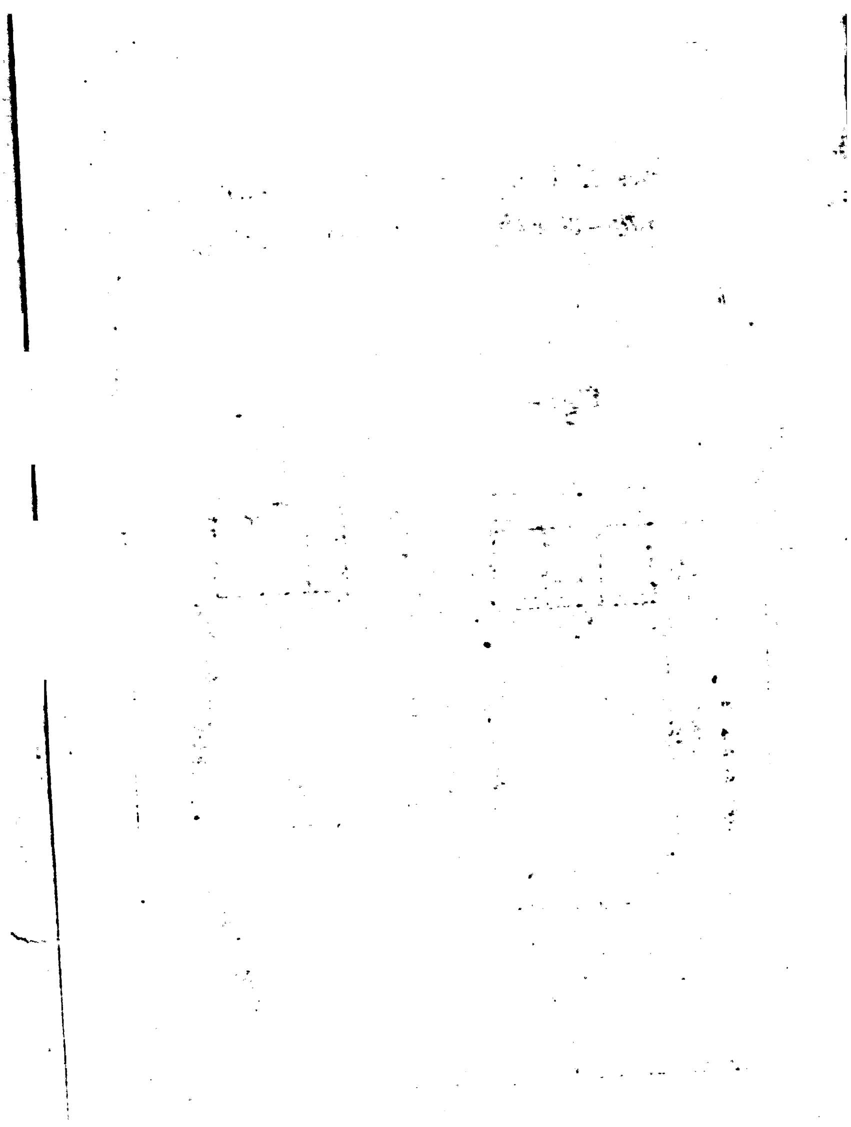
Fig. 8





Ech. 3/4 gr. nat.

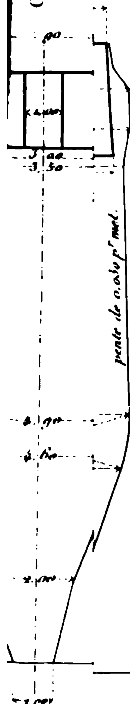
Mauqui



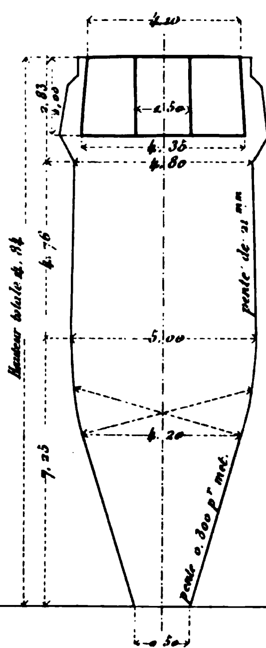
nienne N° 2.
(... rovidence)

Wez St Martin N° 1.
(Thy - le - Château)

Wez St Martin N° 2.
(Thy - le - Château)

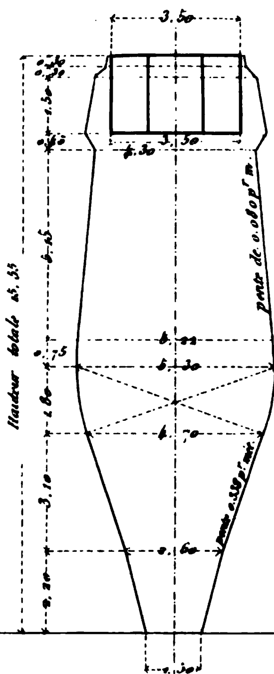


té 158m3 198
$\frac{\ldots 95}{\ldots 90} = 3,24$



Capacité 210m3

$\frac{H}{D} = 2,96$

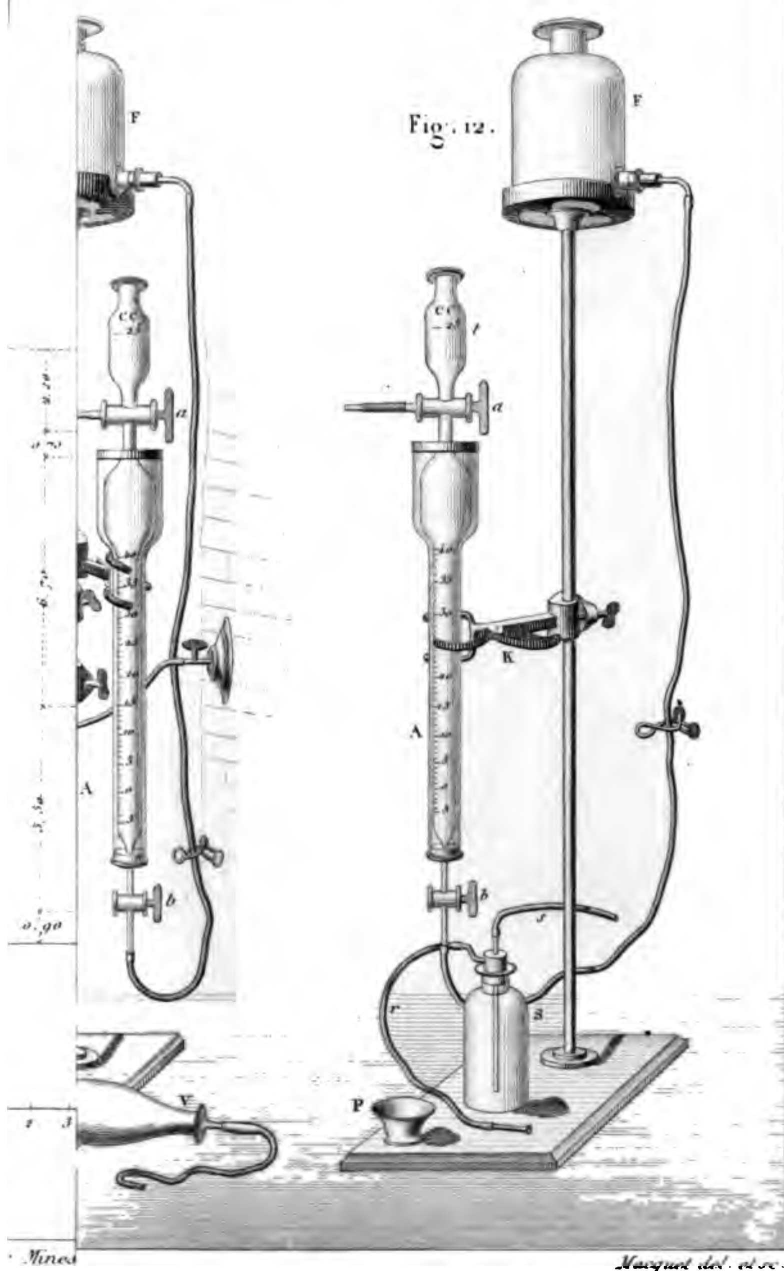


Capacité 220m3

$\frac{H}{D} = 2,93$

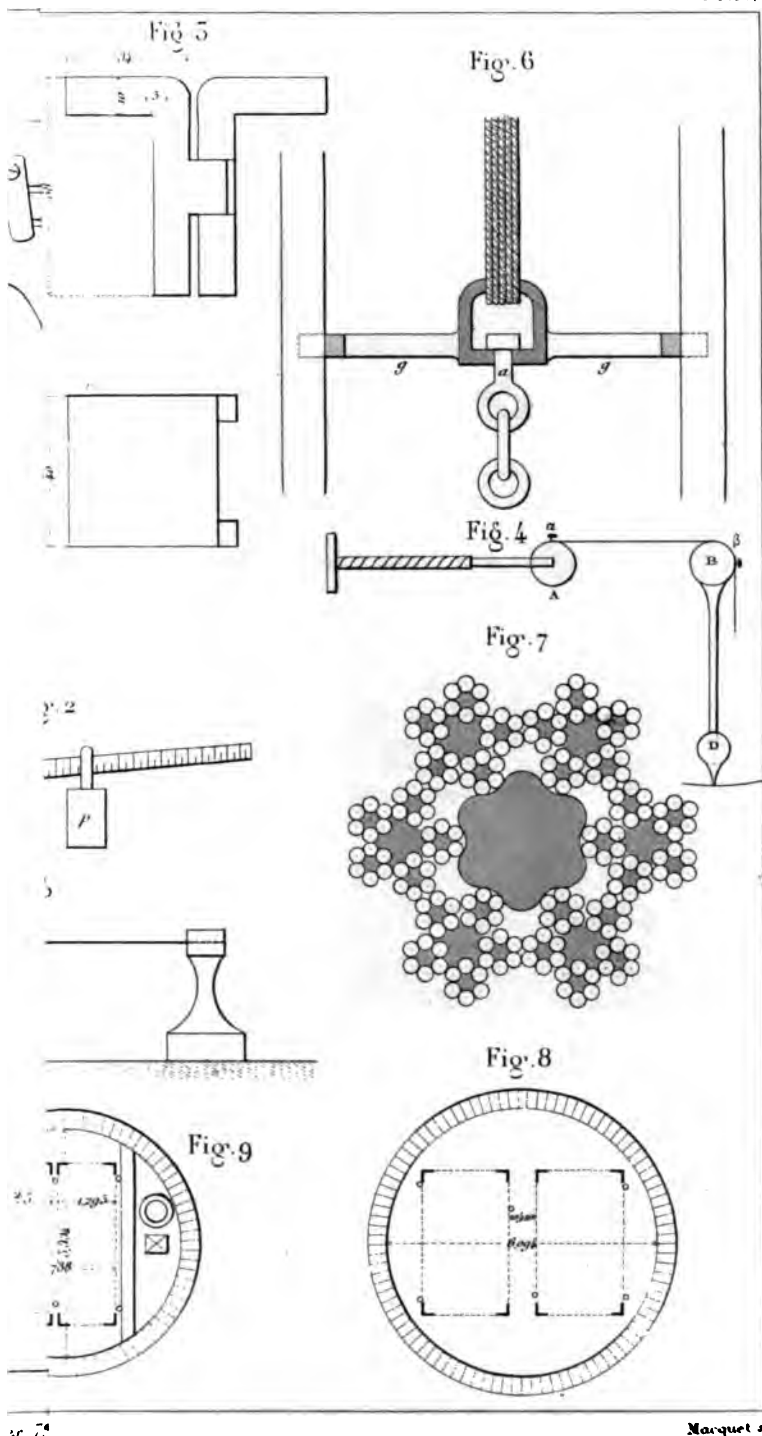
... 10 mètres

Macquet del et sc


...te à gaz du Docteur Bünte
Fig. 12.
F
F
cc
t
a
a
A
A
K
b
b
r
s
S
P
V
o,90
Mines
Macquet del. et sc.

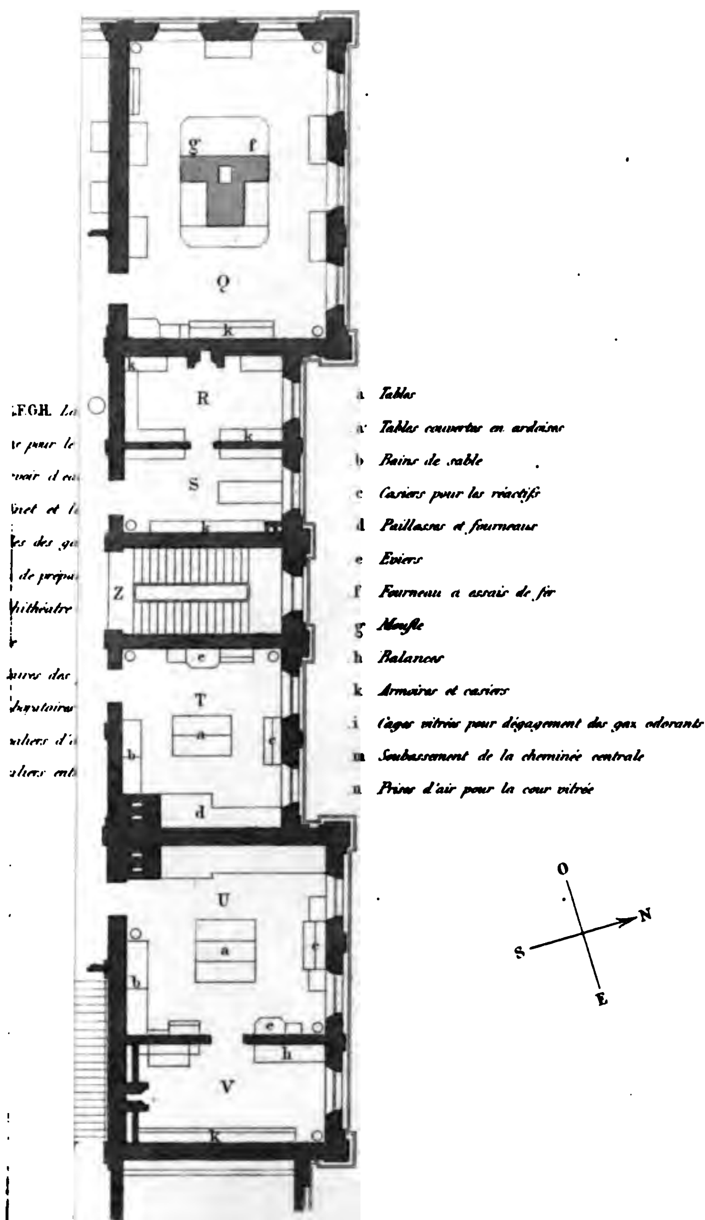






Marquet sc





Minas. 7.

Macquet. del.

